

Informe final de la propuesta para la estabilización de un
movimiento en masa ubicado en inmediaciones de los barrios
Monserrate y Cafetero, municipio de Sevilla, Valle del Cauca

Presentado por

Luis David Restrepo Medina

Daniel Stiven Varela Guerrero

Juan Sebastián Sánchez Muepaz

Daniel Alejandro Viveros Torres

Profesor:

Iván Fernando Otálvaro Calle

Pontificia Universidad Javeriana Cali

Departamento de Ingeniería Civil e Industrial

Diseño II

noviembre de 2023

Copyright © 2023 por Iván Fernando Otálvaro Calle. Todos los derechos reservados.

ii

En el presente informe se desarrollará un análisis y posteriormente una posible solución de la problemática que ocurre en el municipio de Sevilla, Valle, respecto a una serie de deslizamientos que se vienen presentando al transcurso del tiempo desde 1988 hasta 2022. Estos fenómenos naturales se evidencian generalmente en las zonas de ladera, representando una amenaza significativa para la seguridad de las personas y de la infraestructura.

Se conto con estudios previos realizados por distintas entidades junto con sus propuestas en busca de solucionar esta problemática, siendo participe Univalle, Geocing, AIV y CVC, aportando información importante para la caracterización del suelo, identificación de propiedades mecánicas y factores detonantes.

Se logro establecer los factores que ocasionan o repercuten en la ocurrencia de los movimientos en masa y posterior a este, se propone una posible solución, realizando detalladamente un análisis de la información recopilada, apoyándonos en modelaciones para llevar el contexto más cerca a la realidad, adjuntando el contexto constructivo teniendo en cuenta la parte económica, ambiental y social de la zona, obteniendo así, la solución de dicha problemática de una forma optimizada para poder ser implementada y dar bienestar a la población que se encuentra en la zona.

Tabla de Contenidos

iv

Introducción.....	1
Objetivo de diseño	2
1. Diagnostico.....	3
1.1. Reseña Histórica	3
1.2. Planteamiento de la problemática	6
2. Marco teórico.....	7
2.1. Elementos de la solución propuesta.....	7
2.1.1. Terrazas.....	7
2.1.2. Cunetas.....	8
2.1.3. Trincheras drenantes	9
2.1.4. Almacenamiento de agua subterránea (recubrimiento en concreto).....	10
2.1.5. Drenes horizontales.....	11
2.1.6. Manto para el control de erosión	12
2.1.7. Encauzamiento temporal de la quebrada El Cafetero	13
2.1.8. Elementos del paisajismo.....	15
2.2. Normativa	18
2.2.1. NSR-10	18
2.2.2. INVIAS	19
2.2.3. PAVCO	19
2.3. Criterios de diseño	19
3. Alternativas de solución	20
3.1. Alternativa Geocing	22
3.2. Caissons con viga de cabezal.....	23

3.3.	Caissons y Terrazas.....	25	v
3.4.	Trincheras drenantes y terrazas.....	26	
4.	Topografía	28	
4.1.	Obtención de los estratos a partir de la construcción del perfil	28	
4.1.1.	Perfil previo a los movimientos en masa críticos	28	
4.1.2.	Modelación para generación del perfil definitivo	30	
4.2.	Construcción del perfil central y obtención de los perfiles para el análisis	34	
5.	Geotecnia.....	35	
5.1.	Terrazas.....	35	
5.1.1.	Estabilidad.....	35	
5.1.2.	Movimientos de tierra	39	
5.1.3.	Modelación del flujo	41	
5.2.	Modelos de estabilidad global	42	
5.3.	Manto para el control de erosión	44	
5.4.	TECDREN	46	
6.	Hidrología.....	48	
6.1.	Precipitación	48	
7.	Hidráulica	53	
7.1.	Cunetas.....	53	
7.1.1.	Cuneta Tipo 1.....	59	
7.1.2.	Cuneta Tipo 2.....	63	
7.2.	Cajas de recolección y distribución	69	
7.3.	Trincheras drenantes	71	
7.4.	Drenes horizontales.....	73	

7.5.	Tratamiento temporal y permanente Quebrada El Cafetero.	75	vi
7.6.	Descole.....		77
8.	Diseño estructural.....		80
8.1.	Cunetas.....		80
8.2.	Pantallas en concreto.....		81
8.3.	Losas en concreto.....		86
8.4.	Cajas de distribución y recolección		87
9.	Paisajismo.....		87
9.1.	Mobiliario		88
10.	Urbanismo		88
11.	Metodología constructiva		90
12.	Cantidades de obra		97
13.	Presupuesto.....		99
14.	Conclusión.....		105
15.	Referencias		106

Lista de figuras

vii

Figura 1. Ubicación geográfica de la zona de estudio. Geodatabase, CVC.....	3
Figura 2. Localización urbana del sitio de estudio. Geocing (2014).	4
Figura 3: Topografía del perfil estudiado. Geocing (2014).	5
Figura 4: Perfil dos a lo largo de los años. CVC (2022).....	5
Figura 5: Esquema de movimiento rotacional retrogresivo.	6
Figura 6: Estado actual carrera 51 (noviembre 3 del 2023).	7
Figura 7: Terrazas como sistema de protección de taludes.....	8
Figura 8: Distribución de cunetas en talud	9
Figura 9: Vista típica de trinchera drenante.	10
Figura 10: Pantalla de concreto en trinchera de grava.....	11
Figura 11: Vista típica de drenes horizontales en taludes.....	12
Figura 12: Manto para el control de erosión. Fuente: Diseño de infraestructura con geosintéticos.	13
Figura 13: Encauzamiento temporal de la quebrada el cafetero. Fuente: Elaboración propia	14
Figura 14: Aplicación del Flexocreto	14
Figura 15: Banca para implementar en los senderos.	15
Figura 16: Árbol de guayaba. Fuente:Arboles ornamentales.....	16
Figura 17: Árbol de naranja. Fuente: Paisajismo lmg.....	16
Figura 18: Siembra de pasto.	17
Figura 19: Sendero con señal podotáctil. Fuente: NTC 5610.....	17
Figura 20: Parque infantil.	18
Figura 21: Factores de seguridad indirectos. Fuente: NSR-10	20
Figura 22: Flujoograma de la estructura de trabajo para alcanzar la solución final.	21

Figura 23: Factor de seguridad en condición estática, propuesta Geocing	22	viii
Figura 24: Factor de seguridad en condición pseudoestática, propuesta Geocing	23	
Figura 25: Caisson superior con profundidad de 14m, separado longitudinalmente cada 1.2m ..	24	
Figura 26: Caisson superior e inferior con profundidad de 14 y 12m respectivamente, separados longitudinalmente cada 1.2m.....	24	
Figura 27: Terrazas con caisson superior e inferior de 12m de profundidad, condición estática.	25	
Figura 28: Terrazas con caisson superior e inferior de 12m de profundidad, condición pseudoestática.	26	
Figura 29: Terrazas con caisson superior e inferior de 12m de profundidad con berma de contención, condición pseudoestática.	26	
Figura 30: Estabilidad global trincheras drenantes y terrazas, condición estática.....	27	
Figura 31: Estabilidad global trincheras drenantes y terrazas, condición pseudoestática.	27	
Figura 32. Ubicación perfil Univalle (2011).....	28	
Figura 33. Ubicación perfil CVC (2022)	28	
Figura 34. Perfil generado con la topografía Univalle (2011)	30	
Figura 35. Perfil previo a movimientos en masa	30	
Figura 36. Modelo Univalle (2011)	31	
Figura 37. Resultados de modelación – perfil Univalle (2011).....	32	
Figura 38. Modelo perfil actual CVC (2022).....	34	
Figura 39. Superficie de falla Scor2	34	
Figura 40. Resultados de modelación – perfil CVC (2022).....	34	
Figura 41: Perfiles de terreno natural usados en la elaboración de la propuesta	35	
Figura 42: Condiciones del flujo de agua subterráneo en el talud.....	37	
Figura 43: Abaco No.3 de Hoek and Bray.....	38	
Figura 44: Propuesta de terracedo sobre perfil el perfil actual	39	

Figura 45: Áreas de corte y relleno sobre el terreno natural	39	ix
Figura 46: Áreas de corte y relleno con cajones de excavación	40	
Figura 47: Detalle cajones de excavación proporción 1H:2V	41	
Figura 48: Modelación del flujo sobre el perfil de terrazas	42	
Figura 49: Factor de seguridad global en condición estática, propuesta definitiva	43	
Figura 50: Factor de seguridad global en condición pseudoestática, propuesta definitiva.....	43	
Figura 51: Factor de seguridad puntual para la terraza sin relleno continuo en condición pseudoestática.	44	
Figura 52: Dimensiones del anclaje de corona del talud para manto de control de erosión.	46	
Figura 53: Manto permanente no tejido (TRM500), con anclajes de talud.	46	
Figura 54: Estructura del TECDREN	47	
Figura 55: Localización de la Geomalla entre el terreno natural cortado y el relleno de la propuesta final	48	
Figura 56: Ubicación de estaciones meteorológicas utilizadas en el estudio Univalle (2011).	50	
Figura 57: Distribución espacial mensual multianual de la precipitación de la estación Heraclio Uribe (1972-2010).	52	
Figura 58: localización estación pluviométrica Heraclio Uribe	52	
Figura 59: Localización en planta de cuentas propuestas	54	
Figura 60: Periodo de retorno recomendado para cada tipo de obra hidráulica	56	
Figura 61: Coeficiente de escorrentía de acuerdo con el área de drenaje (1)	57	
Figura 62: eficiente de escorrentía de acuerdo con el área de drenaje (2).....	57	
Figura 63: Curas IDF estación Heraclio - Uribe.....	59	
Figura 64: Área aferente para las cunetas tipo 1	60	
Figura 65: Sección típica para cunetas rectangulares	61	
Figura 66: Sección transversal cuenta tipo 1	62	

Figura 67: Área aferente para las cunetas Tipo 2	63	x
Figura 68: Velocidades máximas permitidas en canales artificiales	64	
Figura 69: Modelo de sección transversal, cuenta tipo 2, Terraza 1.....	65	
Figura 70: Modelo del perfil para cuneta tipo 2, Terraza 1	66	
Figura 71: Modelo de sección transversal, cuenta tipo 2, Terraza 2 a 6.....	67	
Figura 72: Modelo del perfil para cuneta tipo 2, Terraza 2 a 6	67	
Figura 73: Modelo de sección transversal, cuenta tipo 2, Terraza 7 a 9.....	68	
Figura 74: Modelo del perfil para cuneta tipo 2, Terraza 7 a 9	68	
Figura 75: Localización típica de caja de recolección y distribución en las terrazas	70	
Figura 76: Esquema típico de la caja de recolección y distribución.....	71	
Figura 77: Localización en planta de las trincheras drenantes	72	
Figura 78: Localización en perfil de las trincheras drenantes.....	72	
Figura 79: Detalle típico de las trincheras drenantes (Grava + Geotextil)	73	
Figura 80: Localización del dren horizontal para evacuar el agua almacenada en las columnas de grava.....	74	
Figura 81: Vista en perfil y detalle de drenes horizontales.....	74	
Figura 82: Condición de inestabilidad cauce Quebrada El Cafetero(3-nov2023)	76	
Figura 83: Condición de estanqueidad de la Quebrada El Cafetero (3-nov2023)	76	
Figura 84: Propuesta de encauzamiento temporal Quebrada El Cafetero	77	
Figura 85: Descole por medio de tubería PVC y flexocreto.....	78	
Figura 86: verificación hidráulica de la tubería PVC	79	
Figura 87: Refuerzo cuneta 60x50.....	80	
Figura 88: Refuerzo cuneta 50x50.....	81	
Figura 89: Refuerzo cuneta 25x35.....	81	

Figura 90: Diagrama de presiones ejercidas sobre la pantalla de concreto	82	xi
Figura 91. Presión sobre pantalla 1 de 0.95m por metro lineal.	83	
Figura 92: Cuantía de acero necesaria para pantalla 1 de 0.95m por metro lineal.	84	
Figura 93: Presión sobre pantalla 2 de 1.20m por metro lineal.	84	
Figura 94: Cuantía de acero necesaria para pantalla 2 de 1.20m por metro lineal	85	
Figura 95: Presión sobre pantalla 3 de 2.00m por metro lineal.	85	
Figura 96: Cuantía de acero necesaria para pantalla 3 de 2.00m por metro lineal	86	
Figura 97: Vía existente, colapsada parcialmente (noviembre 3 del 2023).	89	
Figura 98: Elementos de red eléctrica existentes (noviembre 3 del 2023).	89	
Figura 99: Estabilización temporal quebrada el Cafetero	90	
Figura 100: Descapote de terreno con máquina.....	91	
Figura 101: Proceso de excavación con maquinaria.....	92	
Figura 102: Drenes horizontales instalados	93	
Figura 103: Relleno con grava para trinchera drenante	94	
Figura 104; perfilado de talud con motoniveladora	94	
Figura 105: Geomalla instalada en un talud	95	
Figura 106: Rampa de acceso para personas con movilidad reducida.....	96	
Figura 107: Excavaciones a realizarse en cada uno de los perfiles.	97	
Figura 108: Rellenos a realizarse en cada uno de los perfiles.	97	

Lista de tablas

Tabla 1. Datos usados para la generación del perfil	29
Tabla 2: Convenciones de los estratos modelados en el perfil	31
Tabla 3: Propiedades equivalente del basalto entre la teoría de Hoek-Brown y Mohr-Coulomb	32
Tabla 4: Nuevas propiedades mecánicas de los estratos modelados	32
Tabla 5: Parámetros iniciales para el cálculo del ángulo de inclinación β de las terrazas.....	36
Tabla 6: Propiedades mecánicas y convenciones de los estratos usados en los modelos.....	42
Tabla 7: Estaciones seleccionadas que cumplieron con los criterios para el análisis de precipitación.....	49
Tabla 8: Distribución espacial de la precipitación mensual en el área de estudio. Univalle (2011).	51
Tabla 9: Características de la cuenca El Cafetero.....	53
Tabla 10: Coeficiente de escorrentía ponderado.....	58
Tabla 11: intensidad de precipitación i	59
Tabla 12: Caudales calculados para la zona inclinada de cada terraza.....	60
Tabla 13: Geometría propuesta para Cuneta Tipo 1	61
Tabla 14: Resultados de la modelación en Hec-Ras, cuneta tipo 1	62
Tabla 15: Caudales de diseño para cuneta tipo 2.....	64
Tabla 16: Geometría propuesta para la cuenta tipo 2 de acuerdo con la ubicación en las terrazas	65
Tabla 17: Resultados de la modelación en Hec-Ras para cuneta tipo 2, Terraza 1	66
Tabla 18: Resultados de la modelación en Hec-Ras para cuneta tipo 2, Terraza 2 a 6	67
Tabla 19: Resultados de la modelación en Hec-Ras para cuneta tipo 2, Terraza 7 a 9	68

Tabla 20: Dimensiones para las cunetas Tipo 1 y 2.....	69	xiii
Tabla 21: Geometría de la caja de recolección y distribución	71	
Tabla 22: Dimensiones de las trincheras drenantes	73	
Tabla 23: características de los diseños para drenes horizontales	75	
Tabla 24: Especificación propuesta de encauce temporal	77	
Tabla 25: Dimensiones de la tubería propuesta para el descole	79	
Tabla 26: Dimensiones y recomendaciones para el flexocreto.....	79	
Tabla 27. Acero para cunetas.....	80	
Tabla 28. Presiones ejercidas sobre las pantallas de concreto	82	
Tabla 29. Acero de refuerzo para pantallas en concreto.	86	
Tabla 30: Dimensiones de diseño para losa de concreto	86	
Tabla 31. Presupuesto de proyecto.	99	
Tabla 32. Huella de Carbono en kg CO2 eq	104	

Introducción

El presente trabajo corresponde a la necesidad de solucionar problemáticas que se vienen presentando reiteradamente en los barrios Monserrate y El Cafetero pertenecientes al municipio de Sevilla, Valle del Cauca, en los cuales se tiene la presencia de movimientos en masa del suelo sobre el cual están cimentados. Sevilla es un municipio severamente afectado por los deslizamientos de tierra en sus zonas de ladera, esto debido a múltiples factores tales como: inestabilidad del suelo, filtración de agua, erosión de la capa externa de suelo, falta de mantenimiento y construcción de viviendas de manera ilegal.

Se busca por medio de este trabajo investigativo poder identificar los factores puntuales que ocasionan los múltiples derrumbes en la zona a tratar, para así de esta manera proponer la mejor solución posible desde un punto de vista global, abarcando desde obras de movimiento de tierras hasta estructuras hidráulicas. Entendiendo la complejidad de la obra y los múltiples criterios existentes para abarcar la problemática, se diseña y se estudia la obra civil que resulte más beneficiosa para el municipio en cuanto a los apartados económicos, ambientales y constructivos.

Objetivo de diseño

Desarrollar una propuesta de estabilización final, que cumpla con los criterios de diseño establecidos para garantizar el logro de la estabilización del terreno, haciendo uso de procesos iterativos en ramas del conocimiento como la geotecnia, hidráulica, hidrología e ingeniería estructural.

1. Diagnostico

1.1. Reseña Histórica

La zona afectada se encuentra en el municipio de Sevilla, el cual se encuentra ubicado en el nororiente del departamento del Valle del Cauca, a 1612 m.s.n.m. El municipio tiene una extensión aproximada de 588 km², de los cuáles 3,9 km² corresponden a la cabecera municipal, limita al norte con los Municipios de La Victoria y la Tebaida (Quindío), al sur con los Municipios de Bugalagrande y Tuluá, al oriente con Caicedonia, Génova (Quindío) y Roncesvalles (Tolima) y al occidente con Bugalagrande y Zarzal (ver Figura 1).

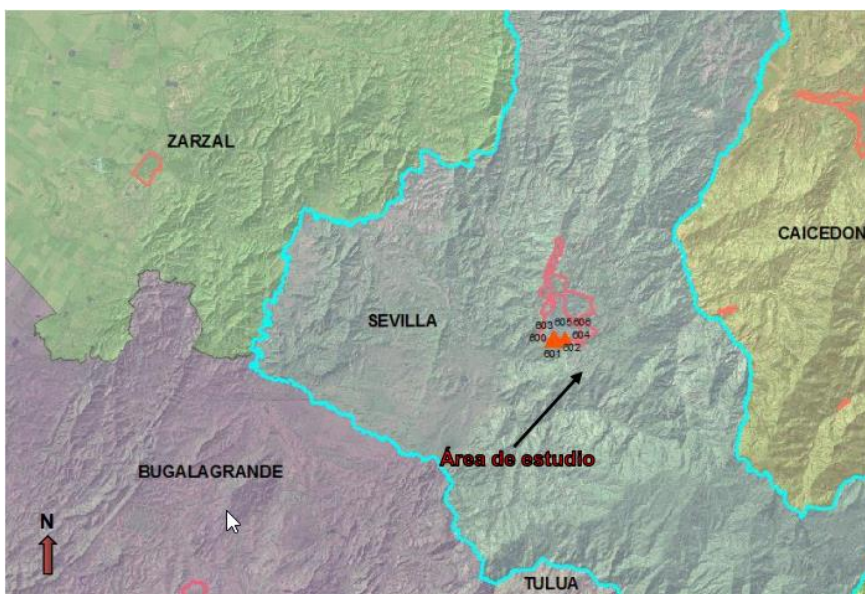


Figura 1. Ubicación geográfica de la zona de estudio. Geodatabase, CVC.

El área de influencia se encuentra al sur el casco urbano del municipio de Sevilla, en los barrios conocidos como Monserrate y Cafetero (ver Figura 2).

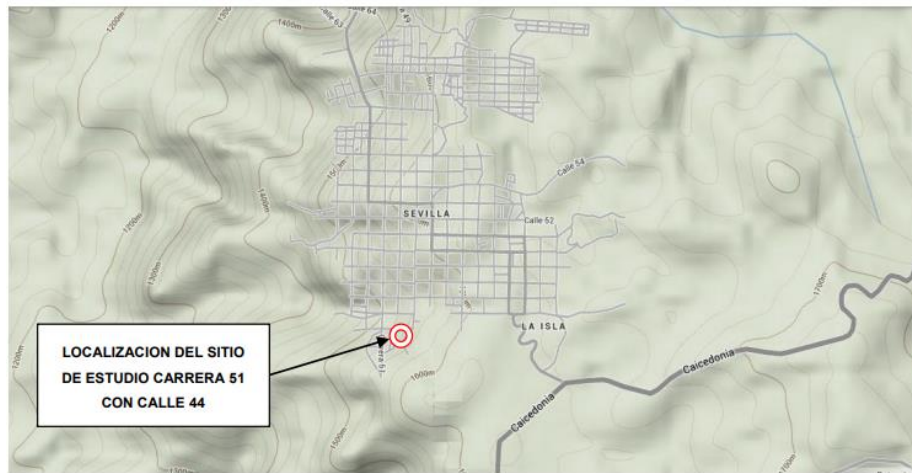


Figura 2. Localización urbana del sitio de estudio. Geocing (2014).

La topografía del municipio de Sevilla exhibe una configuración montañosa con ondulaciones y pequeños escarpes, resultado de movimientos en masa tanto recientes como antiguos. Se evidencia depósitos de cenizas volcánicas provenientes de actividad volcánica pasadas y capas gruesas de suelos residuales que indican procesos de meteorización de rocas basálticas. En este contexto, se contempla una compleja morfología del terreno, modelada por eventos geológicos que han dejado su huella en la superficie específicamente de la zona.

En lo que respecta a la zona de influencia de los movimientos de tierra, se identifica como un área escarpada con una diversidad notable de desniveles y elevadas pendientes. La comparación de la evolución del terreno a lo largo de los años se llevó a cabo utilizando el perfil 2-2, cuyo punto de inicio es el hogar infantil San Vicente de Paul y atraviesa la carrera 51, carrera 50b, carrera 50ª hasta llegar al límite con la quebrada cafetero (Figura 3)



Figura 3: Topografía del perfil estudiado. Geocing (2014).

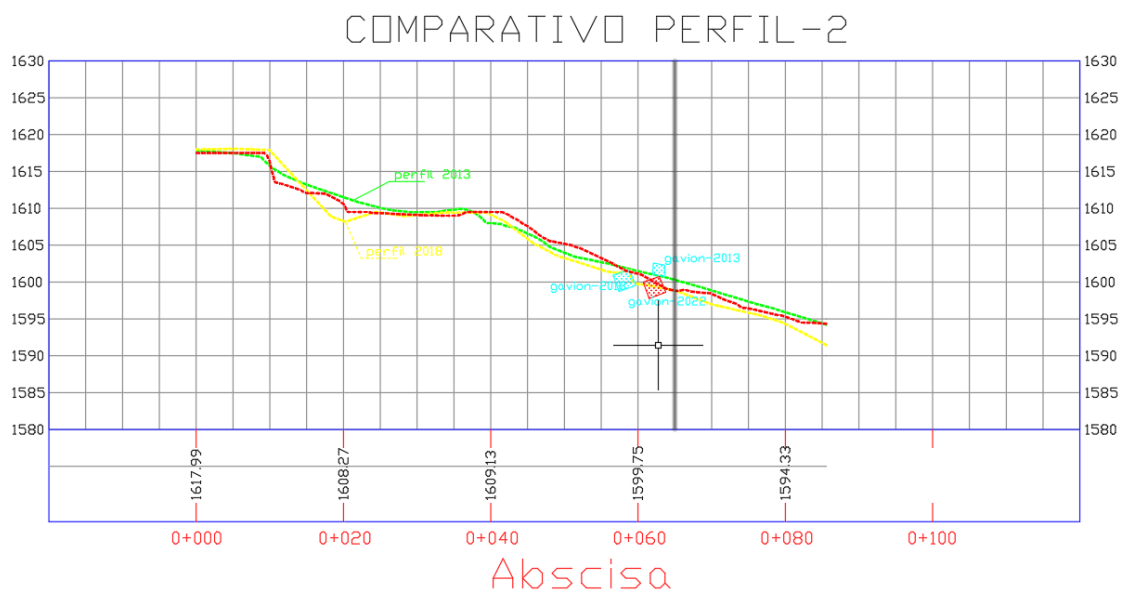


Figura 4: Perfil dos a lo largo de los años. CVC (2022).

Las intervenciones civiles realizadas se han ido modificando considerablemente al transcurso de los años, teniendo como ultimo registro el 2022, teniendo como punto de partida para la ejecución de la modelación y evaluación de la estabilidad actual.

1.2.Planteamiento de la problemática

El principal fenómeno de inestabilidad identificado en la zona corresponde a un movimiento de tipo rotacional retrogresivo ocurrido en el sur del barrio Monserrate y en la ladera oriental de la Quebrada el Cafetero.

La falla rotacional retrogresiva (ver figura 5) se caracteriza por generar la superficie de ruptura (cicatrices) en la parte superior de la ladera, en dirección contraria al deslizamiento del material.

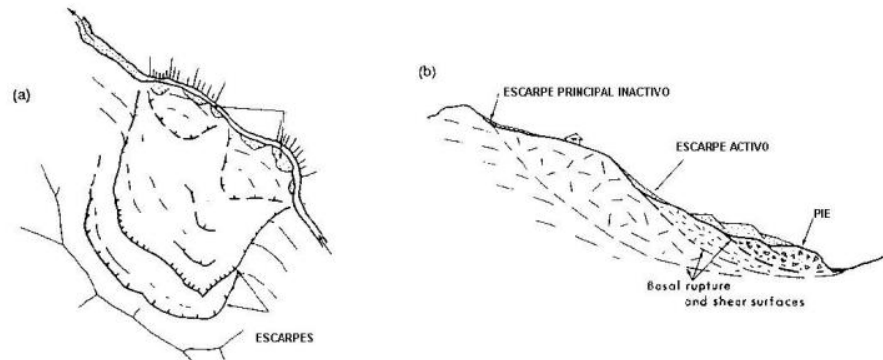


Figura 5: Esquema de movimiento rotacional retrogresivo.

La causa detonante de los deslizamientos en el municipio de Sevilla se determinó que la saturación del suelo debido a la gran cantidad de agua infiltrada a través de él, es la causante principal de los deslizamientos, causando dentro del suelo un incremento de presiones de agua excesivo, además, las características del material también tienen una alta influencia en cuanto a la capacidad que tiene este para resistir dichos esfuerzos.

Actualmente, se presencia una cicatriz pronunciada en la zona afectada, producto de los deslizamientos tras los años, siendo muy evidente que afecta en la movilidad de la población de este lugar, tocando realizar su trayectoria por una vía alterna que tiene una leve pendiente que podría dificultar el transporte para algunas personas. Cabe mencionar, que la cicatriz sobre la carrera 51, muestra como al pasar del tiempo se va pronunciando

más estos deslizamientos, y aportando a la infiltración del agua, gracias a las grandes grietas en el suelo, recalcando que se determina como el factor detonante que aumenta la problemática por la saturación del suelo.



Figura 6: Estado actual carrera 51 (noviembre 3 del 2023).

2. Marco teórico

Definir de manera general cada uno de los elementos que conformaran la solución propuesta

2.1. Elementos de la solución propuesta

2.1.1. Terrazas

Las terrazas son estrategias empleadas para la estabilización de taludes con pendientes pronunciadas y la prevención de la erosión del suelo. Estas estructuras consisten en plataformas horizontales o escalonadas a lo largo de la zona inclinada del terreno, estas se conforman mediante operaciones de movimientos de tierra, incluyendo cortes y rellenos.

Además de su función de estabilización, las terrazas posibilitan la creación de una superficie del terreno más uniforme, lo que a su vez facilita el flujo de aguas lluvias y mejora la estabilidad al reducir la masa de suelo en la parte superior del talud.

La nueva topografía resultante de la construcción de terrazas brinda oportunidades para el aprovechamiento de dicho espacio proponiendo elementos tales como la empedradización, la plantación de árboles y la ubicación de infraestructuras urbanas como andenes, bancas, parques infantiles y otras instalaciones destinadas al entretenimiento y disfrute de la comunidad local.

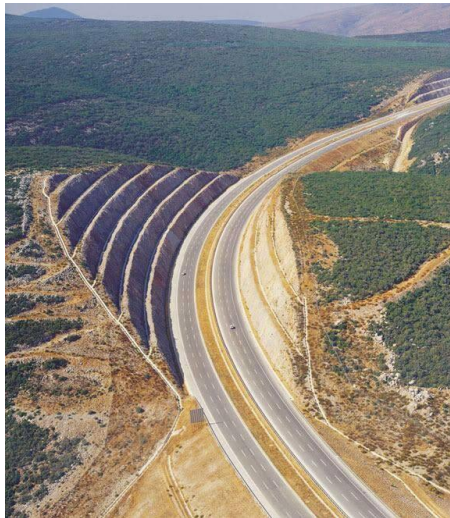


Figura 7: Terrazas como sistema de protección de taludes

2.1.2. Cunetas

Las cunetas son estructuras hidráulicas artificiales diseñadas para facilitar el control del flujo de agua lluvia superficial (in situ y escorrentía) mediante un sistema de captación abierto a la atmósfera. Estos elementos hidráulicos ayudan a controlar las inundaciones y la humedad excesiva del terreno (producto de la infiltración), condición que finalmente pone en riesgo la estabilidad de la zona de interés.

Con tal propósito, las cunetas presentan una gran variedad de geometrías y se distribuyen de manera planificada y conectada a lo largo de toda el área de interés. Este enfoque integral busca no solo el control efectivo del flujo de agua lluvia, sino también su

transporte de manera eficiente y segura, con el fin de una adecuada disposición sin comprometer la estabilidad de la estructura en sí misma y su entorno circundante.



Figura 8: Distribución de cunetas en talud

2.1.3. Trincheras drenantes

Las trincheras drenantes tienen como principal función abatir el nivel freático presente en el terreno mediante su composición por materiales drenantes/filtrantes y sistemas de evacuación, ubicadas estratégicamente, consiguiendo así liberar al terreno, por acción de la gravedad, del exceso de agua que lo satura, mejorando sus condiciones para lograr la estabilidad global deseada. Estas se encuentran dispuestas longitudinalmente sobre las terrazas de manera que abarquen la mayor área posible para poder realizar un correcto drenaje del agua subsuperficial.

Esta estructura, particularmente la propuesta en el presente informe está compuesta principalmente por grava, recubierta por geotextil filtrante y drenes horizontales transversales que evacuarán el exceso de agua a través de la cara de los taludes vertiendo el agua recolectada hacia las cunetas longitudinales dispuestas en cada terraza.

Adicionalmente, esta estructura se encuentra impermeabilizada por una pantalla en concreto y una losa no estructural en su zona inferior, esto con el fin de recolectar el agua que va infiltrándose a través de la grava para así poder drenarla por la tubería.



Figura 9: Vista típica de trinchera drenante.

2.1.4. Almacenamiento de agua subterránea (recubrimiento en concreto)

Una pantalla es un muro de concreto continuo, el cual cuenta con un refuerzo en acero, diseñado como una viga empotrada que soporta empujes. Su principal función es la de contener e impermeabilizar los paramentos de una construcción.

Las losas de concreto son elementos estructurales horizontales, de grandes dimensiones y cargas perpendiculares. Sus tipos varían de en cuánto a sus características principales, como lo son: composición, forma estructural, apoyos, etcétera.

Para el caso puntual del diseño propuesto, la pantalla y la losa trabajan de forma conjunta en la contención e impermeabilización dentro de la trinchera de grava propuesta, son parte del sistema que se implementa para “abatir” el nivel de aguas subterráneas presentes en el terreno en el que se desarrollará la propuesta.

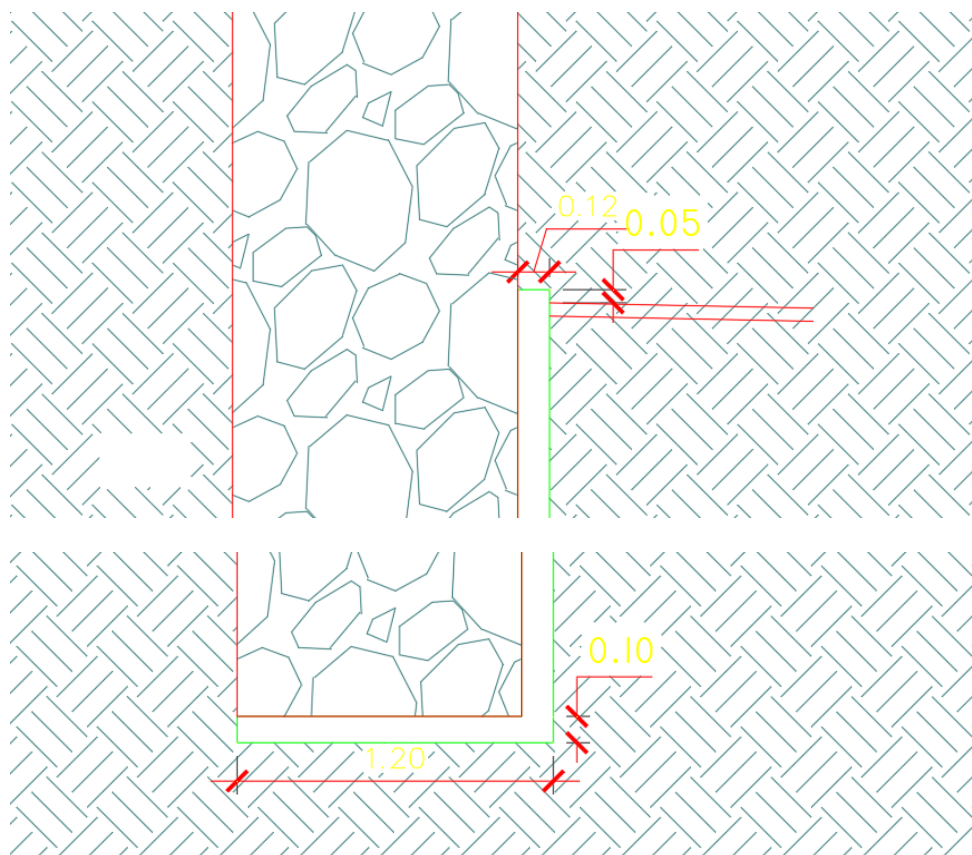


Figura 10: Pantalla de concreto en trinchera de grava

2.1.5. Drenes horizontales

Los drenes horizontales son elementos constituidos para la evacuación de agua subterránea presente en el terreno en sus zonas de taludes, dispuestos transversalmente a este mediante tuberías ranuradas las cuales van separadas según sea necesario. Este sistema permite aliviar las presiones de poros presentes en el talud, así mismo abatiendo el nivel freático de la zona y ayudando a ser conductor del agua drenada a través de las trincheras de grava a las cuales va conectado el sistema.

Este sistema, constituido por tuberías de 2" en dos fases: una fase ranurada y una fase final sólida de 6 metros de longitud, estará dispuesto transversalmente a lo largo de las terrazas que cuenten con trinchera drenante, abatiendo nivel freático y conduciendo el agua hacia la cara externa del talud a las cunetas.



Figura 11: Vista típica de drenes horizontales en taludes.

2.1.6. Manto para el control de erosión

El manto para el control de erosión son esterillas flexibles, elaboradas a partir de fibras de origen natural o sintético o una estructura tridimensional, asegurando la preservación del suelo, refuerzan su integridad y facilitan el adecuado crecimiento de la vegetación. Para establecer el tipo de manto a utilizar es importante tener en cuenta características como el clima, precipitación, geometría del talud y tipo de suelo.

Es importante mencionar que existen dos tipos de mantos: temporales y permanentes, que se distinguen por su resistencia y el tiempo que tardan en degradarse.



Figura 12: Manto para el control de erosión. Fuente: Diseño de infraestructura con geosintéticos.

2.1.7. Encauzamiento temporal de la quebrada El Cafetero

El encauzamiento de un río es el procedimiento a través del cual se encierra o se da dirección a una corriente de agua a través de un paso específico, para la quebrada El Cafetero, se realiza en dos momentos:

- Encauzamiento temporal:

Se realiza a través de la conducción del cauce a través de una tubería de PVC de 16", sobre la cual se hace un rellano con base tipo INVIAS, la cual permitirá el paso de maquinaria y materiales, tal como se muestra en la figura 13.

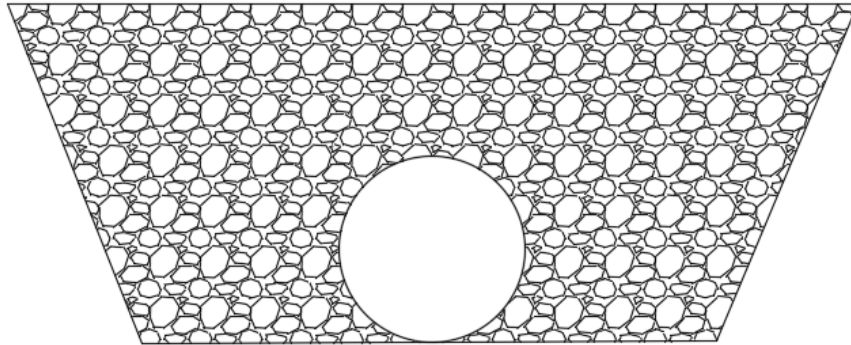


Figura 13: Encauzamiento temporal de la quebrada del cafetero. Fuente: Elaboración propia

- Encauzamiento permanente:

El encauzamiento permanente se llevará a cabo a través de la utilización de Flexocreto, la cuál es una formaleta flexible en tela sintética de doble capa, unida por puntos de filtración entretejidos, que se fabrica con fibras de poliéster de alta tenacidad, la cual se llena con concreto o mortero fluido.

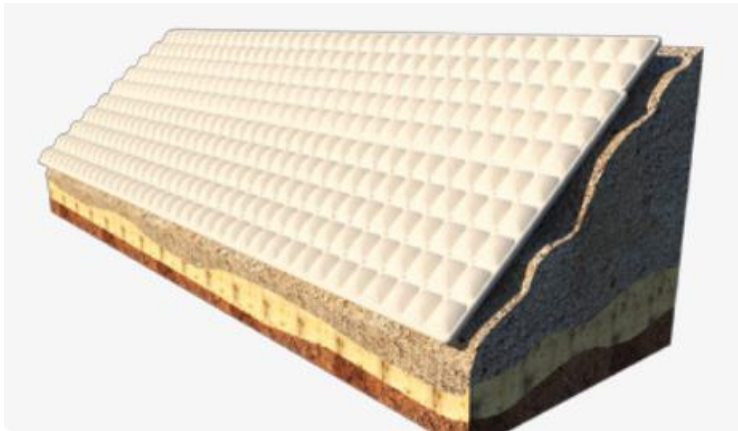


Figura 14: Aplicación del Flexocreto

2.1.8. Elementos del paisajismo

- Bancas: ubicadas estratégicamente en el espacio público de las terrazas con acceso al público, destinadas para que las personas puedan descansar y socializar. Proporcionando comodidad y conveniencia a las personas que transiten por el área.

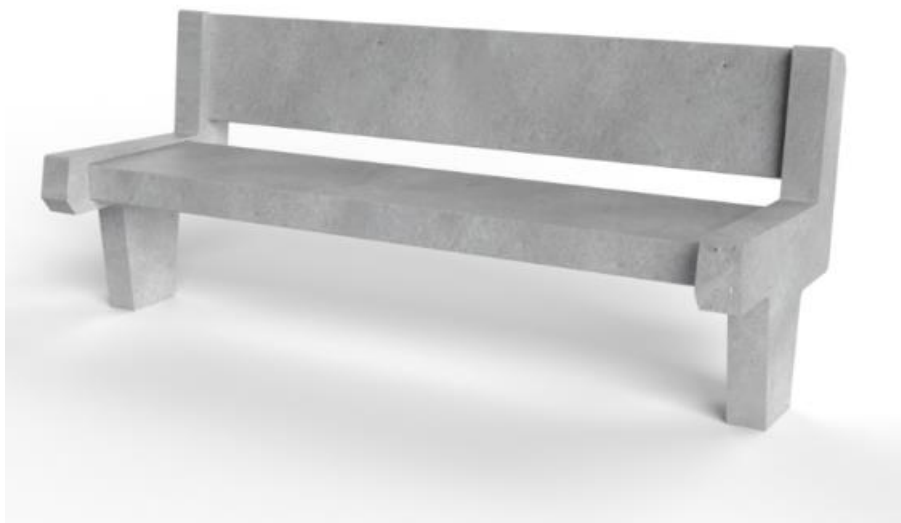


Figura 15: Banca para implementar en los senderos.

- Arborización: se busca plantar y mantener arboles nativos de la zona con el objetivo de mejorar la calidad del medio ambiente, proporcionando sombra y mejorar estéticamente el entorno, que a su vez purifica el aire y crea espacios verdes agradables. Implementando árboles frutales para generar un beneficio para las personas y fauna.



Figura 16: Árbol de guayaba. Fuente: Arboles ornamentales



Figura 17: Árbol de naranja. Fuente: Paisajismo lmg.

- Empradizar: sembrar y establecer capas sobre la superficie cubierta por césped llamado festuca, crea espacios verdes agradables que contribuyen en lo estético, sostenible y la calidad de vida de los espacios urbanos y rurales.



Figura 18: Siembra de pasto.

- Senderos: son caminos o rutas utilizadas para caminar y realizar actividades al aire libre, en este caso, permitiendo explorar zonas verdes atractivas, sirviendo para llegar a lugares en el terreno que de otra manera serian difícil de alcanzar, que a su vez contarán con guías podotáctiles para tener una inclusión de todos los usuarios.

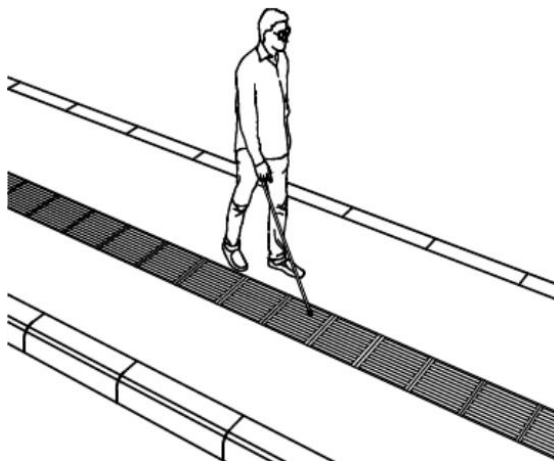


Figura 19: Sendero con señal podotáctil. Fuente: NTC 5610.

- Parque infantil: un área diseñada y equipada específicamente para los niños, en donde puedan jugar y divertirse, fomentando un entorno sano y de recreación para los niños.



Figura 20: Parque infantil.

2.2. Normativa

Literatura guía para el diseño de las propuestas de solución (capítulos, literales usados)

2.2.1. NSR-10

Conforme con lo estipulado en la normativa sismorresistente colombiana, se hace uso de la información para verificar la estabilidad y cumplimientos de los elementos geotécnicos y estructurales propuestos, a continuación, se detallan los parámetros utilizados de la norma.

- Título H, literal H.6.9 en donde se estipula los factores de seguridad indirectos mínimos para las estructuras de contención, de acuerdo con la condición (deslizamiento, volcamiento y estabilidad global) y el comportamiento (condiciones en construcción, estático, sismo y Seudo estático) a la que se encuentra sometida la estructura.
- Título C, Literal 7.12 sobre el refuerzo mínimo en elementos de concreto tipo losa sometido a flexión para resistir los esfuerzos de retracción y temperatura.
- Título C, Literal C.14.3.2 acerca del refuerzo mínimo vertical y horizontal para elementos en concreto tipo muro de acuerdo con el tipo de refuerzo a utilizar.

2.2.2. INVIAS

INVIAS propone una serie de pautas a seguir para el diseño de los drenes horizontales propuestos en las caras de los taludes de las terrazas a realizar, estas pautas van guiadas por puntos de vista de expertos y siguen un modo de diseño basado en la experiencia y criterio profesional de los autores.

- Artículo 674 – 07 INVIAS. Drenes horizontales en taludes, donde se da indicaciones del diámetro mínimo de tubería que debería usarse, sus pendientes, longitud máxima de tubería, perforaciones, separación y maquinaria.
- Artículo 673 INVIAS. Especificaciones técnicas mínimas para uso de geotextiles en drenes subterráneos.

2.2.3. PAVCO

Se emplea los criterios estipulados en el libro guía de PAVCO de diseño de infraestructura con Geosintéticos para establecer los elementos implementados acorde a el control de erosión en taludes abordando la solución más adecuada respecto a las condiciones del terreno.

- Capítulo 16 control de erosión en taludes y canales, donde se establece que tipo de manto utilizar por las condiciones establecidas y metodología de diseño del sistema de control de erosión, teniendo en cuenta tipo de manto, densidad de anclajes e instalación.

2.3. Criterios de diseño

Para garantizar el correcto desarrollo del diseño definitivo se establecieron los parámetros de mayor relevancia con los que debe contar la solución elegida. A continuación, se lista los aspectos que se tuvieron en cuenta al momento de la selección.

- Se establece como criterio de aceptación en un escenario estático, un $F.S \geq 1.5$ y, para un escenario pseudoestático $F.S \geq 1.05$, para así garantizar la estabilidad global del talud en condición estática y pseudoestática de acuerdo con la NSR 10 (ver figura 21).

Tabla H.6.9-1
Factores de seguridad indirectos mínimos

Condición	Construcción	Estático	Sismo	Seudo estático
Deslizamiento	1.60	1.60	Diseño	1.05
Volcamiento: el que resulte más crítico de Momento Resistente/ Momento Actuante Excentricidad en el sentido del momento (e/B)	≥ 3.00 $\leq 1/6$	≥ 3.00 $\leq 1/6$	Diseño Diseño	≥ 2.00 $\leq 1/4$
Capacidad portante	Iguales a los de la Tabla H.4.1			
Estabilidad Intrinseca materiales térreos (reforzados o no)	Iguales a los de la Tabla H.2.1			
Estabilidad Intrinseca materiales manufacturados	Según material (Concreto-Título C; Madera-Título G; etc.)			
Estabilidad general del sistema: Permanente o de Larga duración (> 6 meses)	1.20	1.50	Diseño	1.05
Temporal o de Corta duración (< 6 meses)	1.20	1.30	50% de Diseño	1.00
Laderas adyacentes (Zona de influencia > 2.5H)	1.20	1.50	Diseño	1.05

Figura 21: Factores de seguridad indirectos. Fuente: NSR-10

- Presentar una relación Costo/Estabilidad óptima, lo cual implica que las obras propuestas deben tener eficiencia económica y garantizar la estabilidad mínima requerida según la norma.
- Disponer de un método constructivo realizable, es decir, que la ejecución de la obra propuesta se pueda llevarse a cabo de manera práctica y factible bajo las condiciones actuales de la zona, observadas en la visita a campo.
- Verificar que la solución propuesta afecte en la menor medida las zonas residenciales existentes, siempre y cuando estas se encuentren en condiciones habitables y en zonas residenciales permitidas.

3. Alternativas de solución

La metodología utilizada para alcanzar la solución definitiva se centra en un proceso de selección y comparación entre las propuestas iniciales, en donde finalmente se retoma una línea iterativa para garantizar en la propuesta una solución válida estructuralmente (cumplir con los criterios de estabilidad) y práctica (costo, impacto

ambiental y facilidad constructiva). A continuación, se presenta un flujograma con la metodología previamente descrita (ver figura 22).

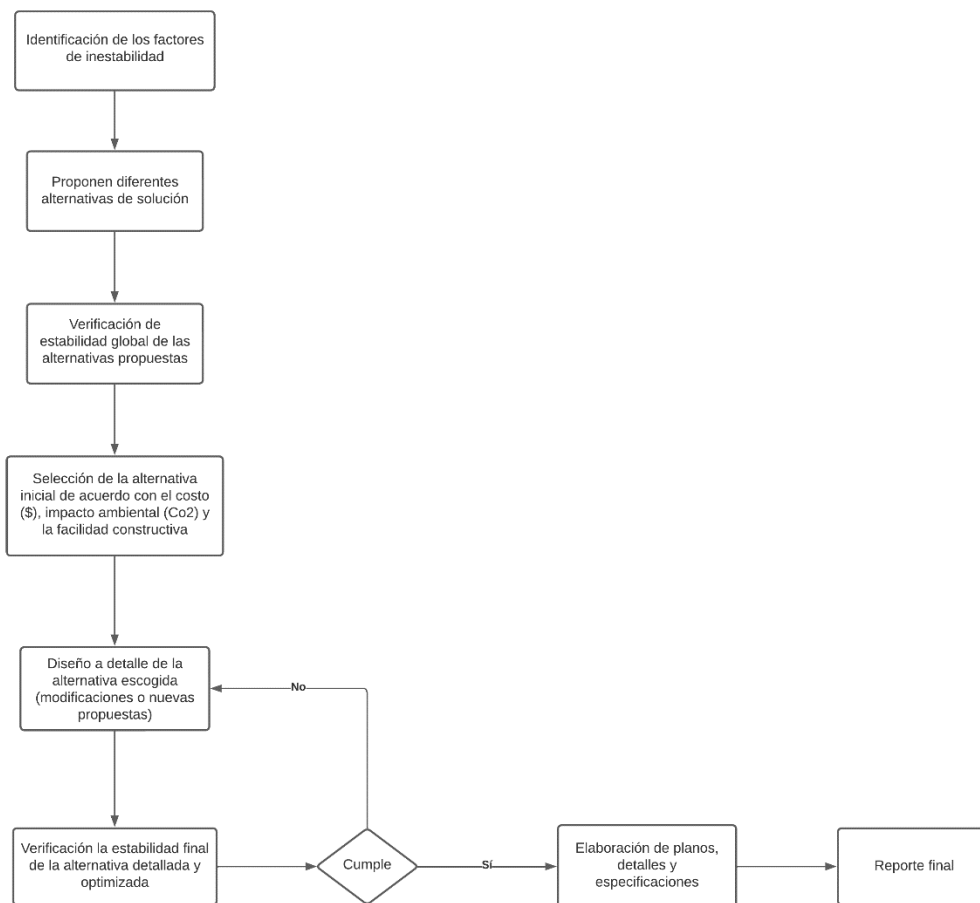


Figura 22: Flujograma de la estructura de trabajo para alcanzar la solución final.

De manera específica para este caso, se evaluó inicialmente la estabilidad geotécnica global de las alternativas propuestas en los informes de Univalle, Geocing y AIV, luego se realizó un comparativo entre las mismas teniendo como principales criterios el costo de ejecución, el impacto ambiental y la facilidad constructiva de cada una de las propuestas, finalmente al evaluar los criterios anteriores y contrastarlos con las restricciones de diseño, se seleccionó como propuesta definitiva inicial a Geocing al tener los parámetros más cercanos a lo solicitado. Posteriormente sobre la propuesta seleccionada se llevó a cabo el diseño a detalle de la línea de geotecnia bajo las condiciones

actuales del terreno en donde se obtuvo un resultado desfavorable en donde no se alcanzó la estabilidad mínima requerida, por lo tanto, se inició un proceso iterativo implementando diversas estrategias sobre el terreno, los elementos de contención y el sistema de drenaje subterráneo para lograr con la estabilidad requerida. A continuación, se muestran las diferentes alternativas evaluadas:

3.1. Alternativa Geocing

La propuesta a cargo de la firma Geocing consiste en la construcción de un muro en voladizo localizado en dos abscisas diferentes del perfil, apoyados sobre Caissons totalmente embebidos en el estrato de suelo, con base en la información de las propuestas se verifico la estabilidad sobre el perfil actual en condición estática y pseudoestática (ver figura 23 y 24).

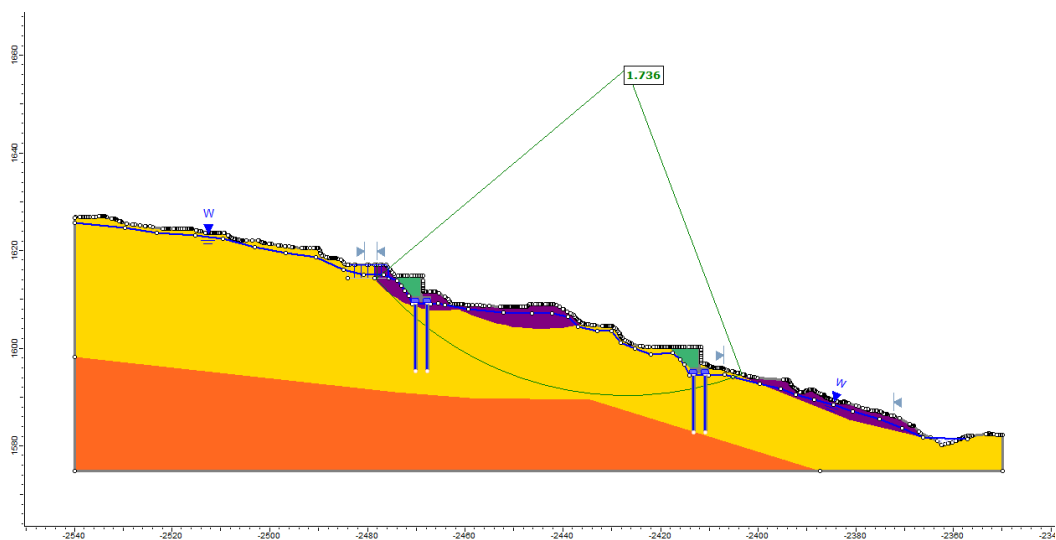


Figura 23: Factor de seguridad en condición estática, propuesta Geocing

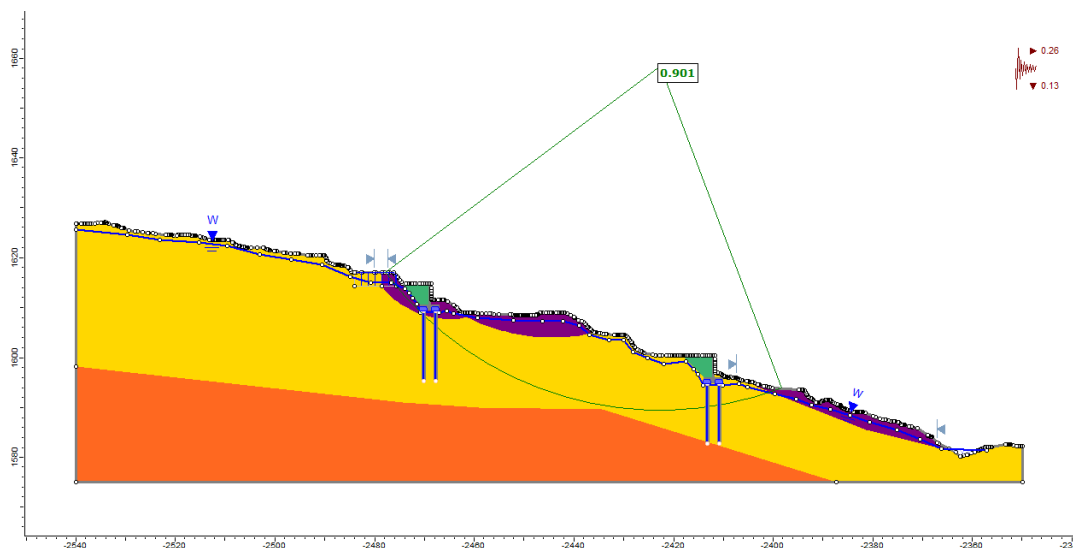


Figura 24: Factor de seguridad en condición pseudoestática, propuesta Geocing

Como resultado se evidenció que las estructuras propuestas no cumplen con los requisitos de estabilidad sobre las condiciones actuales del terreno.

3.2. Caissons con viga de cabezal

La propuesta consiste en realizar una estructura de contención conformada por Caissons o pilas en concreto de manera que imiten la función de un muro tipo pantalla, estas pilas se disponen de manera longitudinal en la zona de interés con una separación variable y conectadas por medio de una viga cabezal en concreto. La localización de esta propuesta coincide con los muros en voladizo propuestos por Geocing.

Para estas propuestas se evaluaron distintos escenarios variando principalmente la cantidad, la profundidad y la separación de los caissons, a continuación, se presentan algunos modelos de los escenarios evaluados (ver figuras 25 y 26).

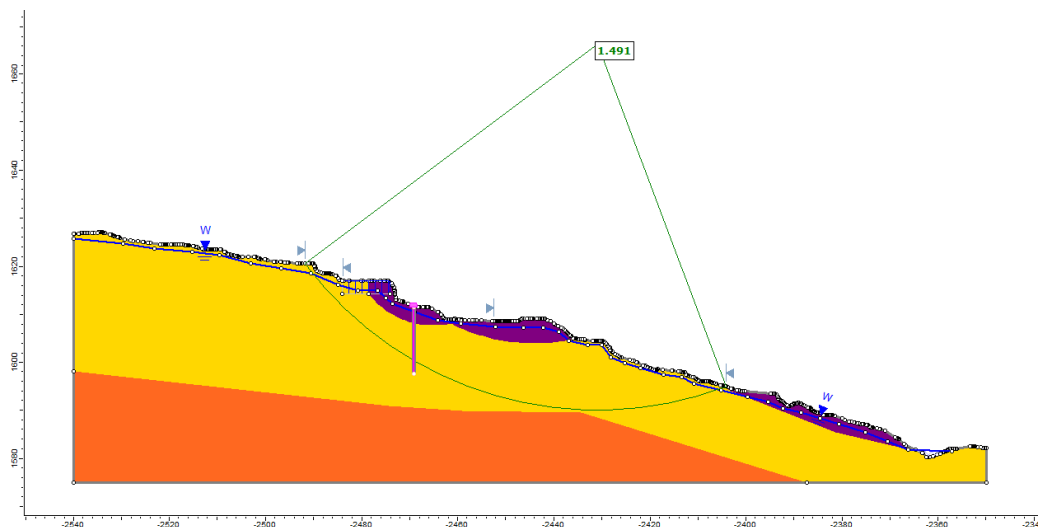


Figura 25: Caisson superior con profundidad de 14m, separado longitudinalmente cada 1.2m

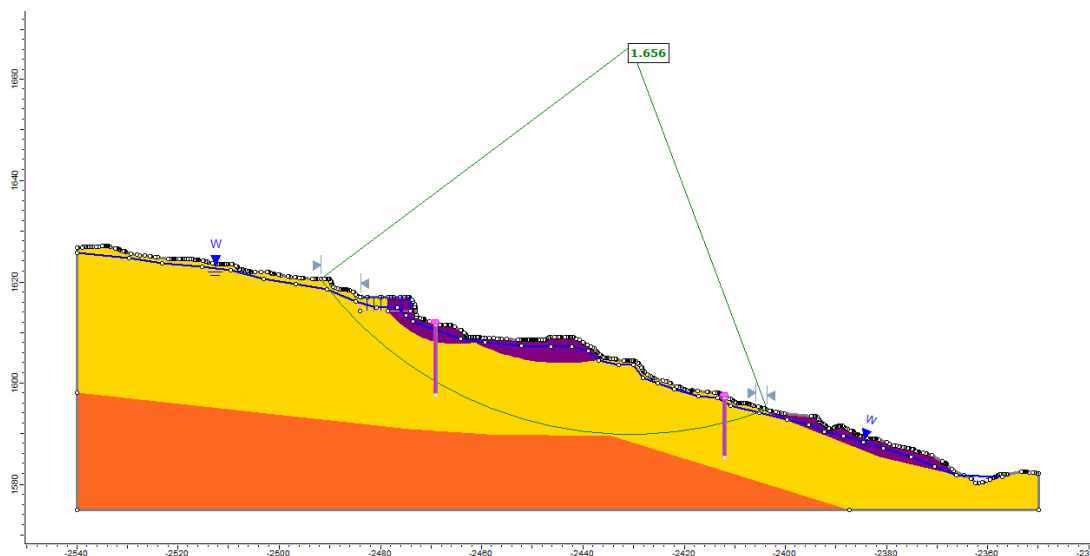


Figura 26: Caisson superior e inferior con profundidad de 14 y 12m respectivamente, separados longitudinalmente cada 1.2m.

De acuerdo con los modelos, aunque se alcanza el F.S requerido en condición estática esta alternativa presenta dos grandes inconvenientes en primer lugar no se brinda un buen manejo a las aguas subterráneas permitiendo un flujo de agua muy superficial que terminaría favoreciendo nuevos movimientos en masa. En segundo lugar, esta alternativa presenta una alta complejidad en la ejecución, debido a su topografía irregular e inestable

que entorpece las actividades de excavación y fundición de los caissons que además termina favoreciendo la infiltración y el empozamiento del agua lluvia superficial al no presentar un recorrido claro para esta.

3.3. Caissons y Terrazas

Esta propuesta busca corregir los puntos débiles de las anteriores alternativas al proponer sobre el terreno natural la construcción de nuevas terrazas, en busca de obtener un terreno con una superficie homogénea y una mejor estabilidad al descargar la parte superior del talud conservando los caissons en concreto. Los modelos presentaron los siguientes resultados (ver figuras 27, 28 y 29)

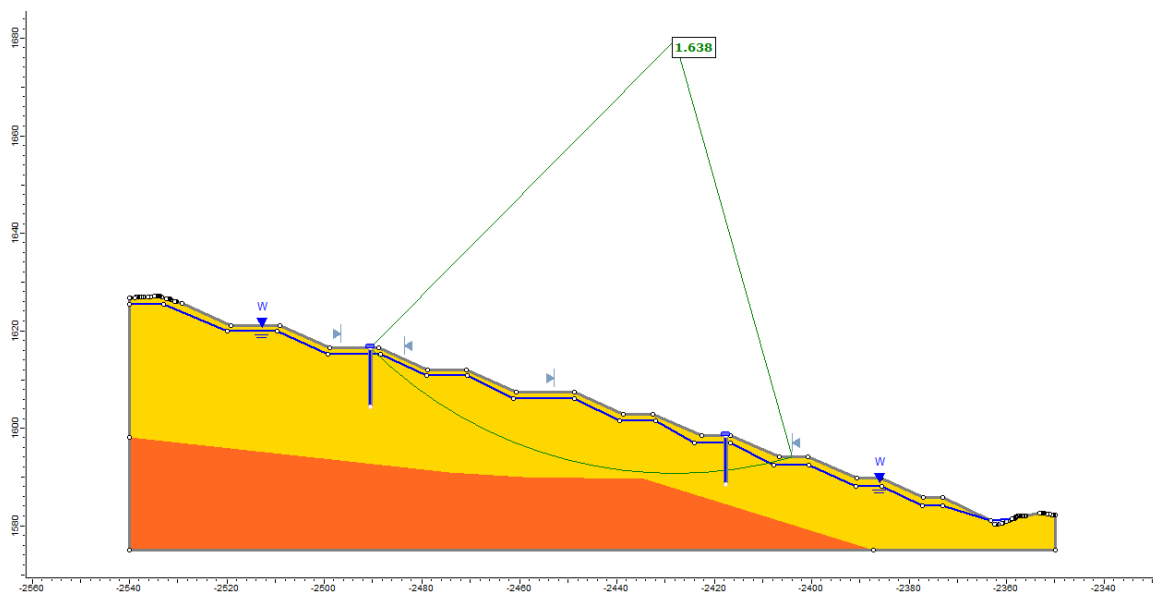


Figura 27: Terrazas con caisson superior e inferior de 12m de profundidad, condición estática.

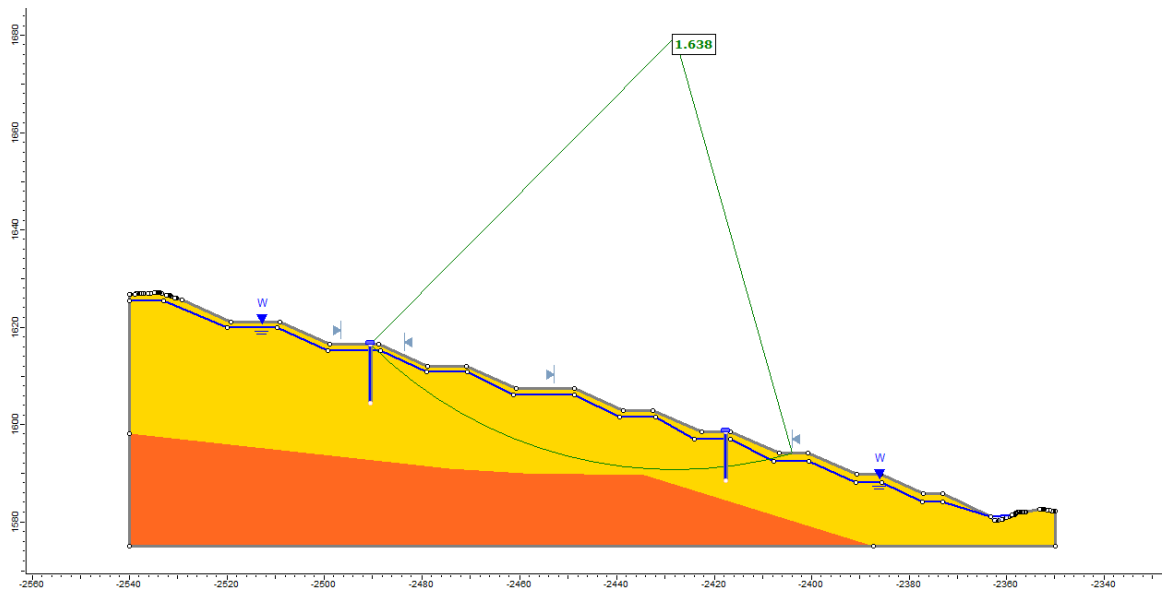


Figura 28: Terrazas con caisson superior e inferior de 12m de profundidad, condición pseudoestática.

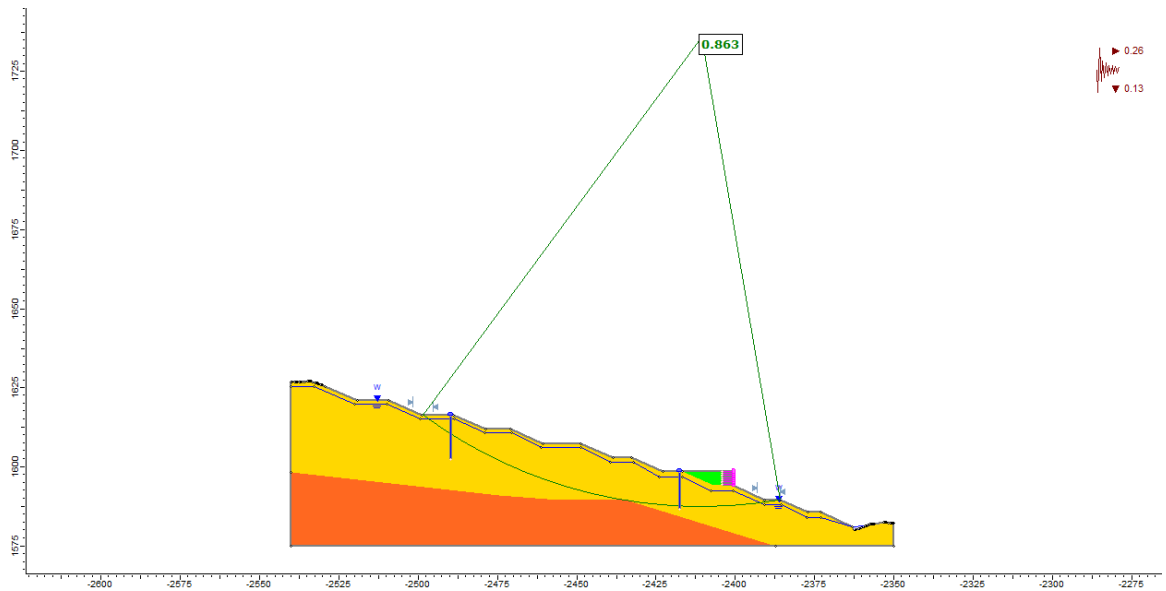


Figura 29: Terrazas con caisson superior e inferior de 12m de profundidad con berma de contención, condición pseudoestática.

Con base en los resultados de los modelos aun con la propuesta de las terrazas en la condición pseudoestática no se logra alcanzar el F.S solicitado.

3.4. Trincheras drenantes y terrazas

Finalmente, la última alternativa propone mantener las terrazas y abatir el nivel freático reemplazando los caisson por trincheras en grava que actúan como filtro y captan el agua subterránea para posteriormente ser evacuadas, con esto se obtuvieron los siguientes resultados (ver figuras 30 y 31).

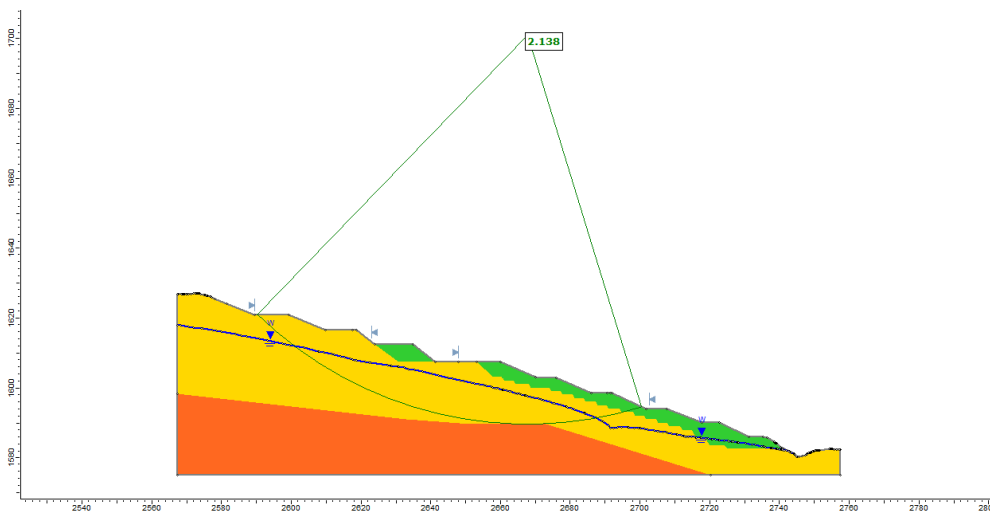


Figura 30: Estabilidad global trincheras drenantes y terrazas, condición estática

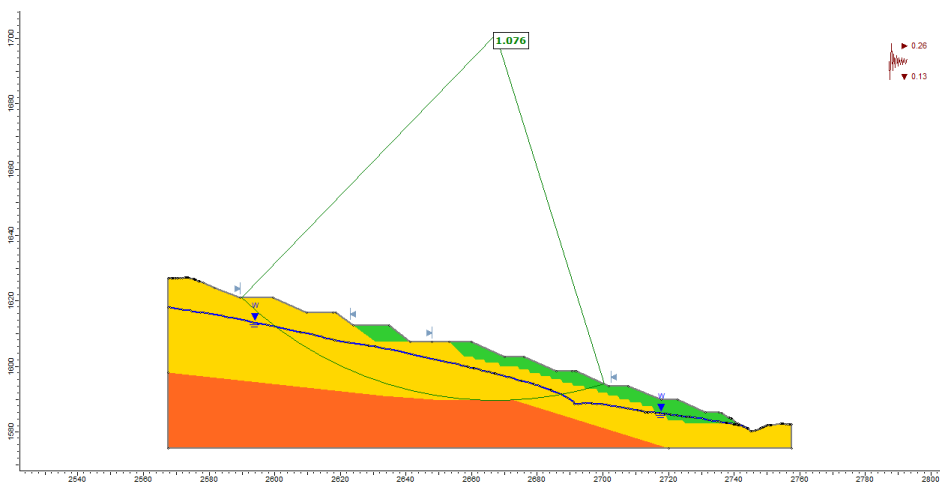


Figura 31: Estabilidad global trincheras drenantes y terrazas, condición pseudoestática.

De acuerdo con los resultados de los modelos se selecciona esta como la alternativa definitiva, que es el resultado de un proceso iterativo de todas las alternativas de solución planteadas durante el diseño, finalmente con un terreno homogéneo y un abatimiento del

nivel freático, de tal manera que se alcanza la estabilidad requerida para condiciones estáticas y pseudoestática.

El detalle de este capítulo se encuentra en “ANEXO 1: Análisis de estabilidad de las propuestas de Univalle, Geocing y AIV sobre el perfil actual.”

4. Topografía

4.1. Obtención de los estratos a partir de la construcción del perfil

4.1.1. Perfil previo a los movimientos en masa críticos

Con base en la topografía generada por Univalle (2011) y el plano dispuesto en el mismo informe se generó un perfil, siguiendo la misma línea de ubicación que el perfil 2 generado por CVC (2022) (ver figura 32 y 33), con lo cual se obtuvo lo mostrado en la figura 34.

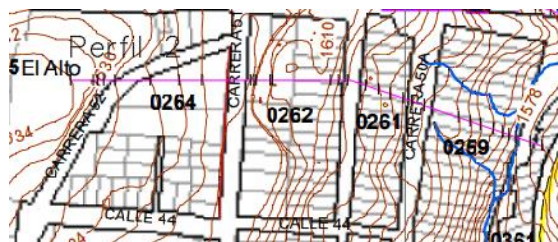


Figura 32. Ubicación perfil Univalle (2011)

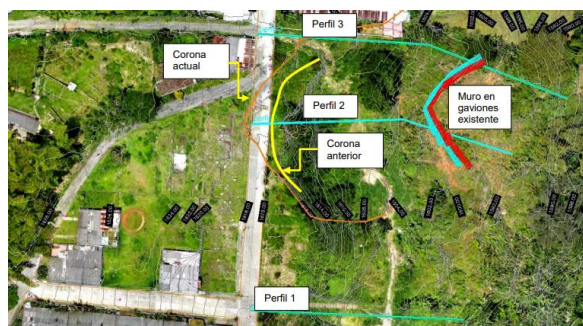


Figura 33. Ubicación perfil CVC (2022)

Tabla 1. Datos usados para la generación del perfil

Cota (msnm)	Distancia (m)	Distancia acumulada (m)
1634	0	0
1632	9.051	9.051
1630	1.701	10.752
1628	2.43	13.182
1626	4.468	17.65
1624	14.107	31.757
1622	11.462	43.219
1620	9.054	52.273
1618	19.462	71.735
1616	1.383	73.118
1614	0.899	74.017
1612	5.503	79.52
1610	0.884	80.404
1608	23.235	103.639
1606	3.15	106.789
1604	3.599	110.388
1602	7.546	117.934
1600	5.467	123.401
1598	4.872	128.273
1596	5.514	133.787
1594	3.642	137.429
1592	5.218	142.647
1590	14.457	157.104
1588	4.872	161.976
1586	4.338	166.314
1584	5.489	171.803
1582	3.931	175.734
1580	2.662	178.396
1578	2.826	181.222
1580	6.046	187.268
1582	4.978	192.246

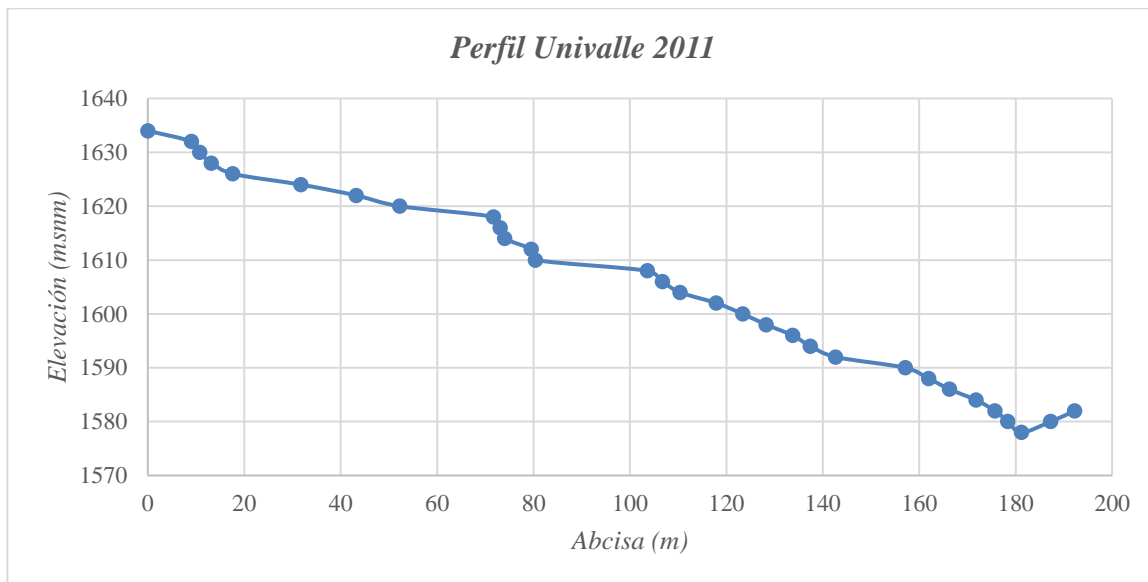


Figura 34. Perfil generado con la topografía Univalle (2011)

Una vez obtenido este perfil se hizo uso de las planchas del IGAC para establecer pendientes medias y, para realizar un perfil más completo se realizaron los rellenos y cortes que fueron ejecutados a lo largo del terreno, más específicamente contiguos a las vías para la construcción de casas (ver figura 36).

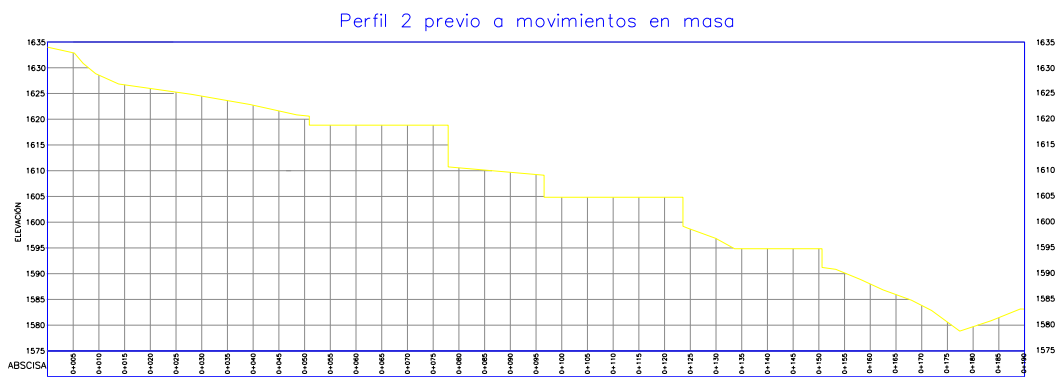


Figura 35. Perfil previo a movimientos en masa



4.1.2. Modelación para generación del perfil definitivo

A partir del perfil construido con la topografía de Univalle (2011), se llevó a cabo la modelación de este mismo para poder obtener una falla con un $F_s=1.0$. o cercano, de acuerdo con la teoría de GLE Morgenstern and Price, logrando así identificar lo que se convertirá en Scor y exportándolo al perfil actual.

Para esta modelación se decidió no diferenciar el estrato correspondiente al relleno ingenieril debido a su poca significancia en la estabilidad del talud.

- *Modelación perfil Univalle (2011)*

Tabla 2: *Convenciones de los estratos modelados en el perfil*

Estrato	Convención
Suelo residual	
Roca blanda	

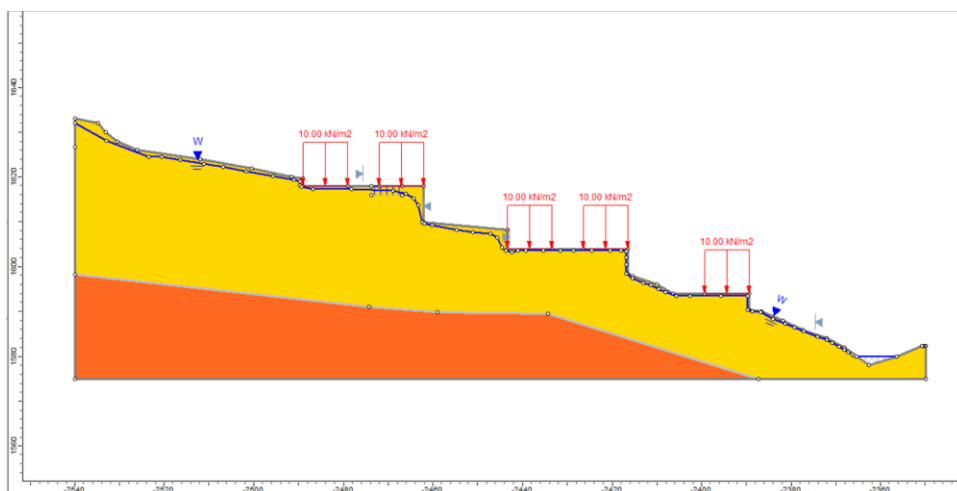


Figura 36. *Modelo Univalle (2011)*

Para el modelo de Univalle (2011) se hizo uso de sobrecargas de 10 kN/m^2 para simular la ubicación de las viviendas, además se limitó la falla con límites principales y secundarios, tal como se muestra en la figura (ver figura 39), respecto a las propiedades de los estratos originales, sufrieron cambios por efectos de modelación en donde las propiedades del estrato correspondiente a la roca-basalto acuñados en la teoría de “Hoek-Brown” se intercambiaron por valores equivalentes a la teoría de Mohr-Coulomb (ver tabla 3), garantizando que la superficie de falla no invadiera este estrato, y en segundo lugar se

realizó una variación en la cohesión y ángulo de fricción interna correspondiente al suelo de residual (ver tabla 4) para lograr el F.S. deseado, estos nuevos valores se asignaron partiendo del hecho de que a menores propiedades mecánicas, el suelo es menos estable y no usar valores inferiores a los del estado residual del suelo (propiedades del Scor, posterior al deslizamiento), En cuanto al nivel freático, también sufrió modificaciones, ya que se llevó aún más cerca de la superficie con un contorno más real y siempre conservando el punto de llegada en la quebrada.

Tabla 3: Propiedades equivalente del basalto entre la teoría de Hoek-Brown y Mohr-Coulomb

Basalto							
Teoría de Hoek-Brown				Teoría de Mohr-Coulomb			
γ (kN/3)	UCS (kPa)	GSI	mi	D	γ (kN/3)	C' (kPa)	ϕ (°)
25	90	30	25	1	25	222	35.4

Tabla 4: Nuevas propiedades mecánicas de los estratos modelados

Estrato	Propiedades		
	C' (kPa)	ϕ (°)	γ (kN/m3)
Suelo residual	5	30	18
Basalto	222	35.4	25

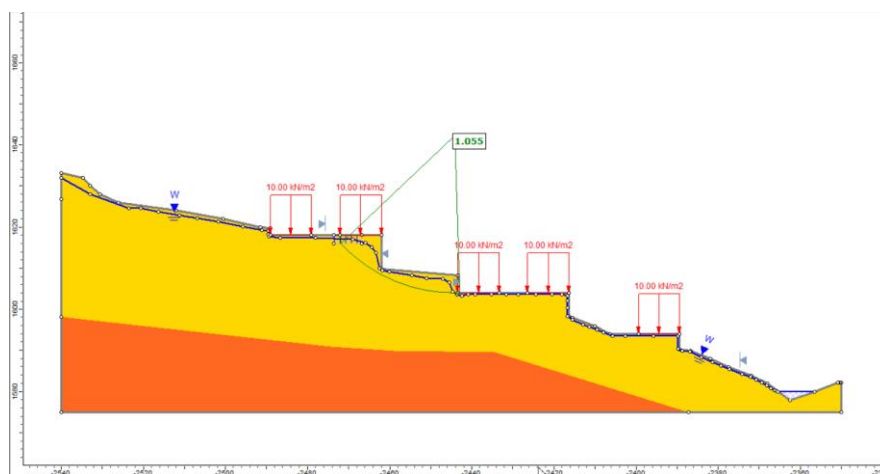


Figura 37. Resultados de modelación – perfil Univalle (2011)

Al realizar la interpretación del modelo (ver figura 38) se obtuvo un $FS=1.06$, lo cual es consecuente con la situación en la que se encontraba el terreno en ese momento. La superficie obtenida es la cual se exporta al perfil actual con propiedades de suelo Scor.

- *Modelación perfil actual CVC (2022)*

Con base en el perfil del concepto técnico realizado por CVC (2022) se realizó el modelo de la condición actual del terreno (ver figura 40), en el cual se incorporó la superficie de falla del modelo de Univalle (2011) como suelo con propiedades de Scor, nombrado como Scor1 en la figura 38.

Posterior a la primera iteración de cálculo del modelo se observó la ausencia de Scor en un lugar del perfil, motivo por el cual se decidió exportar la superficie de falla de la primera iteración al propio perfil (ver figura 40), completando así el estrato de Scor, nombrado como Scor2 en la figura 38.

Adicionalmente, se incluyeron en el modelo las grietas de tracción sobre lo que es hoy en día la carrera 51, estas se analizaron en una condición en la que se encuentran llenas de agua. Respecto al nivel freático se hizo uso de uno superficial, tal como indicaban los estudios realizados en distintos momentos.

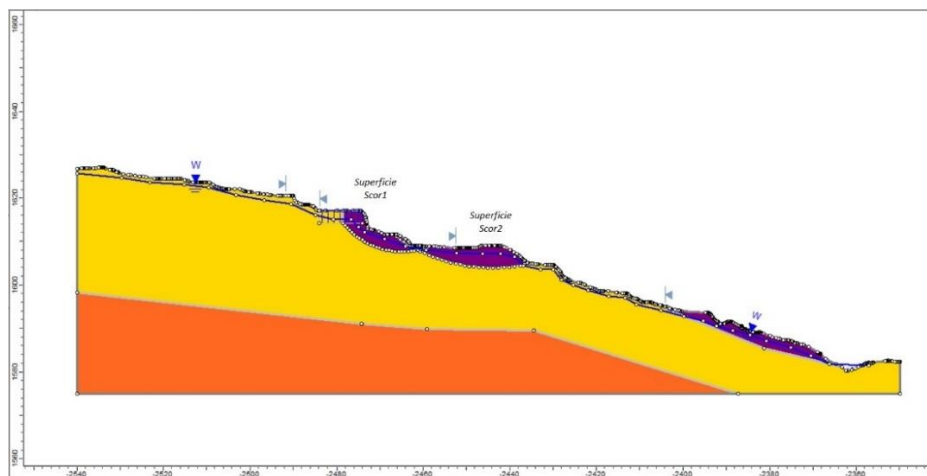


Figura 38. Modelo perfil actual CVC (2022)

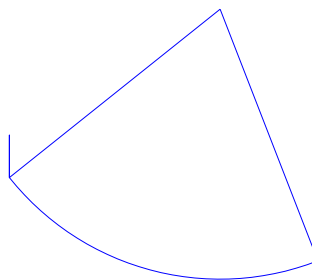


Figura 39. Superficie de falla Scor2

Al realizar la interpretación del modelo en condiciones actuales (ver figura 40) se obtuvo un $FS=0.93$, un valor bastante acercado a la realidad, debido a la inestabilidad que presenta hoy en día el terreno, especialmente el cercano a la carrera 51; Sobre estas condiciones de estabilidad se van a modelar las distintas propuestas existentes para la contención del movimiento en masa.

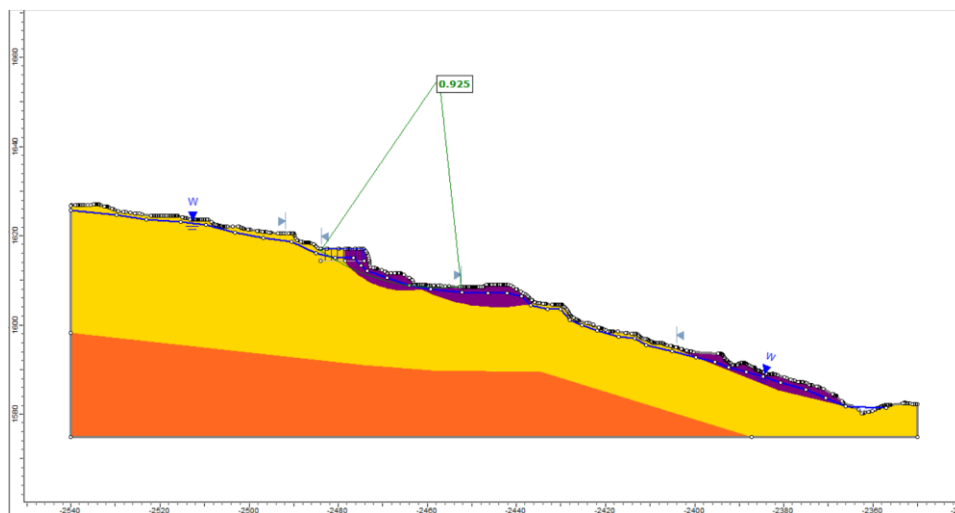


Figura 40. Resultados de modelación – perfil CVC (2022)

4.2. Construcción del perfil central y obtención de los perfiles para el análisis

A partir de la base topográfica obtenida a partir de los estudios realizados por Geocing en el año 2014, se realizó la construcción de los perfiles del terreno natural de la zona de influencia marcada. Como primera medida se construyó el perfil central, sobre el cuál se realizaron todas las modelaciones pertinentes. El perfil central, es llamado perfil No.4 (ver figura 41). A partir de este perfil, se realizaron perfiles cada 5 metros hasta completar toda la zona de la intervención.

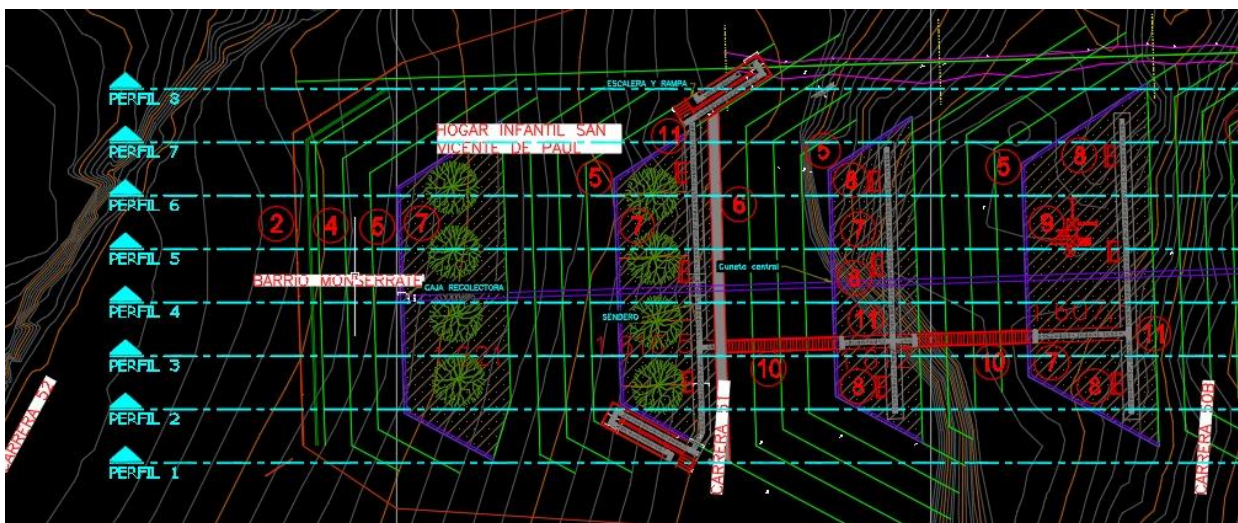


Figura 41: Perfiles de terreno natural usados en la elaboración de la propuesta

5. Geotecnia

De acuerdo con lo mencionado en las alternativas de solución, se escoge finalmente la propuesta de *trincheras drenantes y terrazas* (Ver numeral 3.4). A continuación, se especificarán cada uno de los elementos del aspecto geotécnico que conforman la solución seleccionada:

5.1. Terrazas

La propuesta de las terrazas tiene como objetivos: descargar la corona del talud y generar una superficie homogénea para un transporte adecuado del agua superficial, para finalmente lograr una estabilidad global sobre la zona de interés.

5.1.1. Estabilidad

En primer lugar, el diseño de las terrazas se realizó priorizando la actividad de corte sobre el terreno natural; para esto se debe proponer una geometría de las terrazas (altura e inclinación) que permita obtener una estabilidad adecuada.

La estabilidad de las terrazas se determina con base en la teoría de *Hoek and Bray* (ver figura 43), obteniendo la inclinación de los taludes (β) a partir de los parámetros del suelo y la altura vertical de las terrazas (Ver tabla 5).

Tabla 5: Parámetros iniciales para el cálculo del ángulo de inclinación β de las terrazas

Parámetros	Peso específico (γ) [kN/m ³]	Cohesión (C) [kPa]	Ángulo de fricción (ϕ) [°]	H [m]	F. S
Terraza	18	5	30	4.5 - 4.0	1.5

De manera conservadora se establece un F.S objetivo para las terrazas de 1.5, garantizando una estabilidad adecuada para la propuesta. En cuanto a la altura vertical de las terrazas se presenta un rango entre los 4.5 y 4.0 m, en esencia se buscó mantener una medida estándar sin embargo se tuvo que variar para lograr una mejor superficie de corte y relleno. Para esta verificación la distancia horizontal de la terraza puede ser variable ya que no influye sobre la estabilidad.

Para hacer uso de los ábacos de Hoek and Bray, primero se debe examinar la situación del nivel freático respecto al talud que se propone, a partir de esto se selecciona el ábaco del que se hará uso (ver Figura 43).

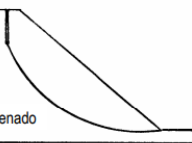
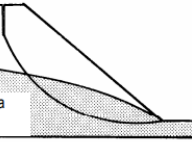
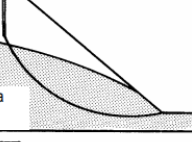
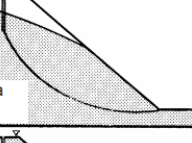
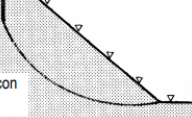
Condiciones del flujo de agua subterránea	Ábaco
 <p>Talud seco – completamente drenado</p>	1
 <p>Salida del agua a 1/8 de la altura del talud</p>	2
 <p>Salida del agua a 1/4 de la altura del talud</p>	3
 <p>Salida del agua a 1/2 de la altura del talud</p>	4
 <p>Talud completamente saturado con recarga superficial continuada</p>	5

Figura 42: Condiciones del flujo de agua subterráneo en el talud

Con base en el modelo existente y en las condiciones previstas del terreno actual, se selecciona el ábaco tres (3) (ver Figura 43), el cuál muestra “salida del agua a $\frac{1}{4}$ de la altura del talud”.

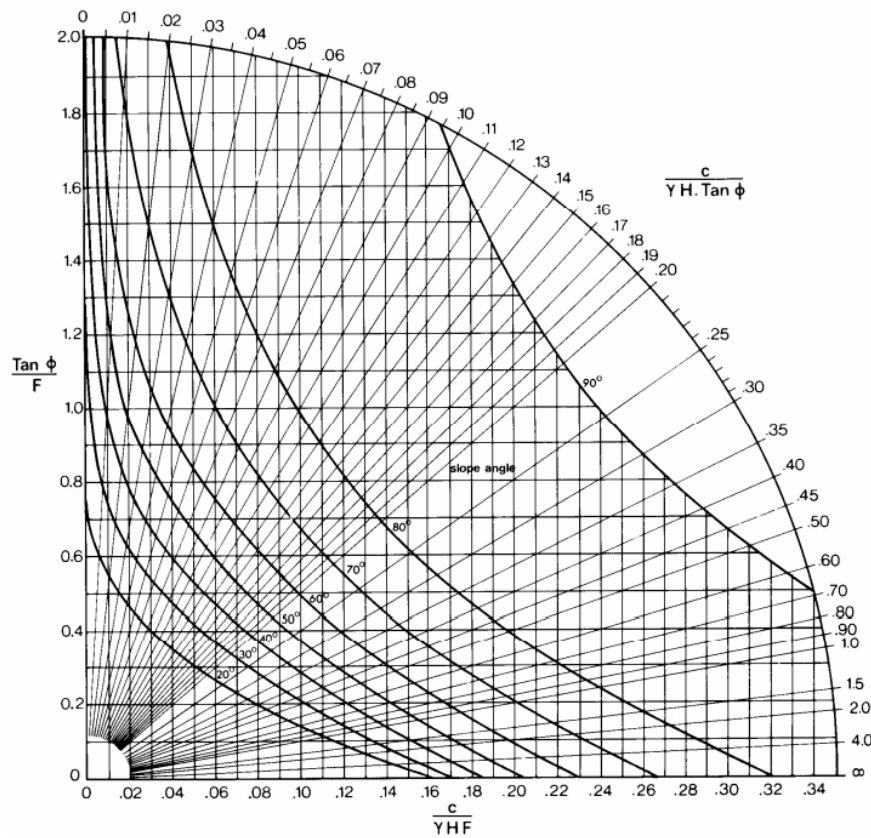


Figura 43: Abaco No.3 de Hoek and Bray

Con la ubicación y trazo de la línea en cada eje y la aproximación a las curvas existentes en el ábaco se obtuvo el siguiente resultado para la altura vertical de terraza de 4.5m, siendo esta la más crítica.

- Inclinación de terrazas (β): 24°

Finalmente, al llevar a cabo las terrazas cumpliendo con los chequeos de estabilidad anterior se obtiene el siguiente perfil inicial (ver figura 44).

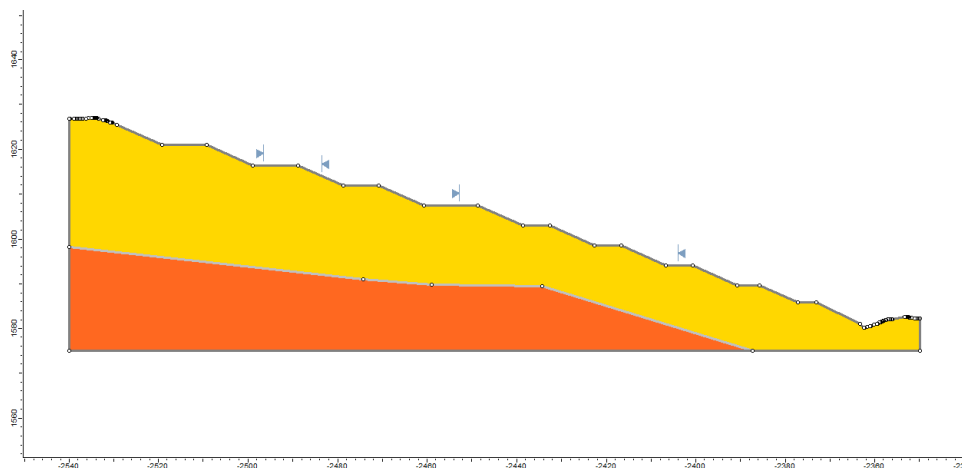


Figura 44: Propuesta de terraceo sobre perfil el perfil actual

5.1.2. Movimientos de tierra

Para alcanzar las características de las terrazas propuestas se deben llevar a cabo movimientos de tierra de corte y relleno significativos sobre la totalidad del área de intereses. Las áreas de corte y relleno se obtienen al superponer el perfil en condiciones actuales y el perfil de las terrazas (ver figura 45).

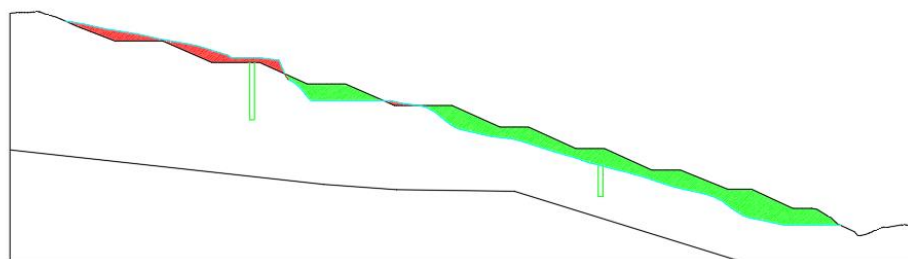


Figura 45: Áreas de corte y relleno sobre el terreno natural

Al evidenciarse áreas de relleno significativas se incluye dentro del corte al terreno natural la conformación de terrazas temporales (**cajones de excavación**) como una estrategia que permita ejecutar los rellenos de manera práctica, para ello

se realiza la verificación de estabilidad al igual que en las terrazas definitivas apoyadas en la teoría de Hoek and Bray.

Sin embargo, para estas terrazas temporales no se requiere de F.S tan elevado, por lo tanto, se propone un valor de 1.1 y una altura estándar de 1.0 m, en cuanto a la distancia horizontal de las terrazas se tiene un minio de 2.8 m de tal manera que se permita el acceso de maquinaria liviana. (ver figura 46)

Bajo las mismas condiciones del suelo (ver tabla 5), flujo de agua subterráneo y su respectivo abaco (ver figuras 42 y 43) se obtuvo:

- Inclinación de terrazas temporales (β): $> 80^\circ$

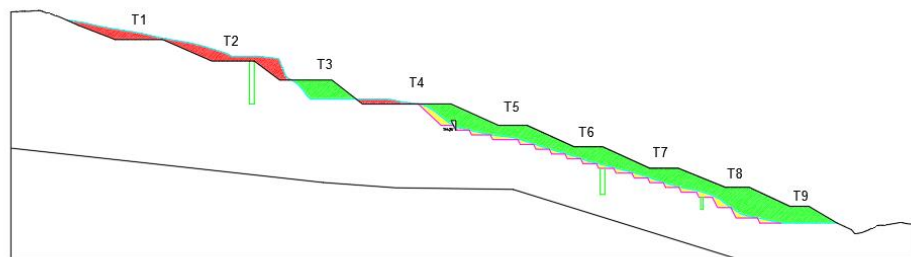


Figura 46: Áreas de corte y relleno con cajones de excavación

Adicionalmente como estrategia constructiva las terrazas temporales se estandarizan mantenido una proporción **1H:2V** (ver figura 47).

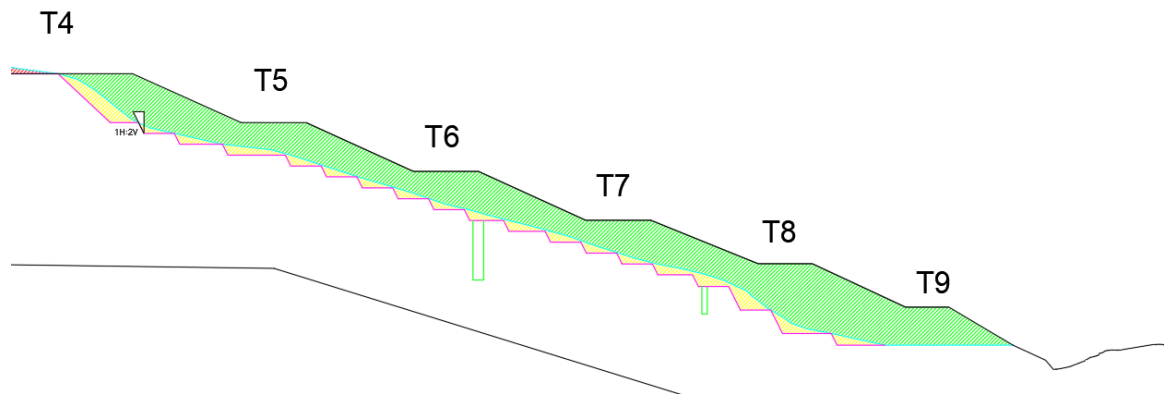


Figura 47: Detalle cajones de excavación proporción 1H:2V

5.1.3. Modelación del flujo

Una vez definidas las características de las terrazas, la estabilidad deseada y las áreas de corte y relleno se realiza la modelación del flujo, es decir del nivel freático presente en la zona.

Para llevar a cabo la modelación del flujo se requiere especificar las condiciones de frontera que indiquen el comportamiento del flujo de agua subterránea a lo largo del perfil analizado, dentro de estas condiciones se incluyen las trincheras drenantes (3) (ver numeral 7.3)

- Condición de frontera superior (CVC 2018): 1618 m
- Condición de frontera inferior (Quebrada El Cafetero): 1581 m
- Condiciones intermedias (Trincheras drenantes): 1607.5 – 1588.5 y 1586 m

Con la información anterior se realiza el modelo del flujo para obtener la línea del nivel freático sobre el perfil de las terrazas (ver figura 48)

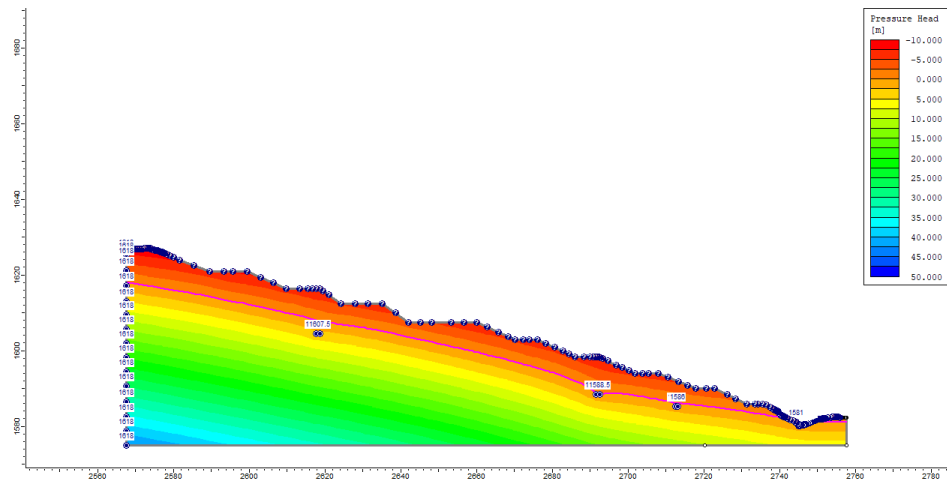






Figura 48: Modelación del flujo sobre el perfil de terrazas

5.2. Modelos de estabilidad global

Finalmente, una vez se integran los elementos anteriores en el modelo, se realiza la verificación de estabilidad global sobre el perfil analizado en condición estática y pseudoestática (ver figuras 49 y 50)

A continuación, se presentan las convenciones y las propiedades mecánicas de los estratos utilizados en la modelación (ver tabla 6)

Tabla 6: Propiedades mecánicas y convenciones de los estratos usados en los modelos

Estrato	Convención	γ (kN/m ³)	ϕ (°)	C' (kPa)
Suelo residual		18	30	5
Scor		18	5	5
Basalto		25	35.4	222
Suelo de relleno		18	28	0

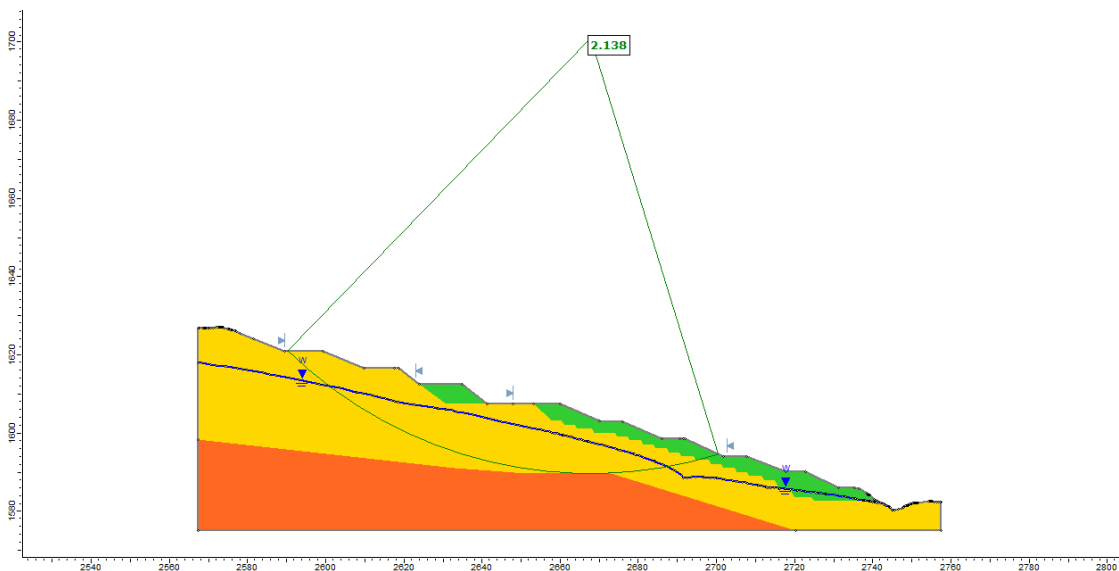


Figura 49: Factor de seguridad global en condición estática, propuesta definitiva

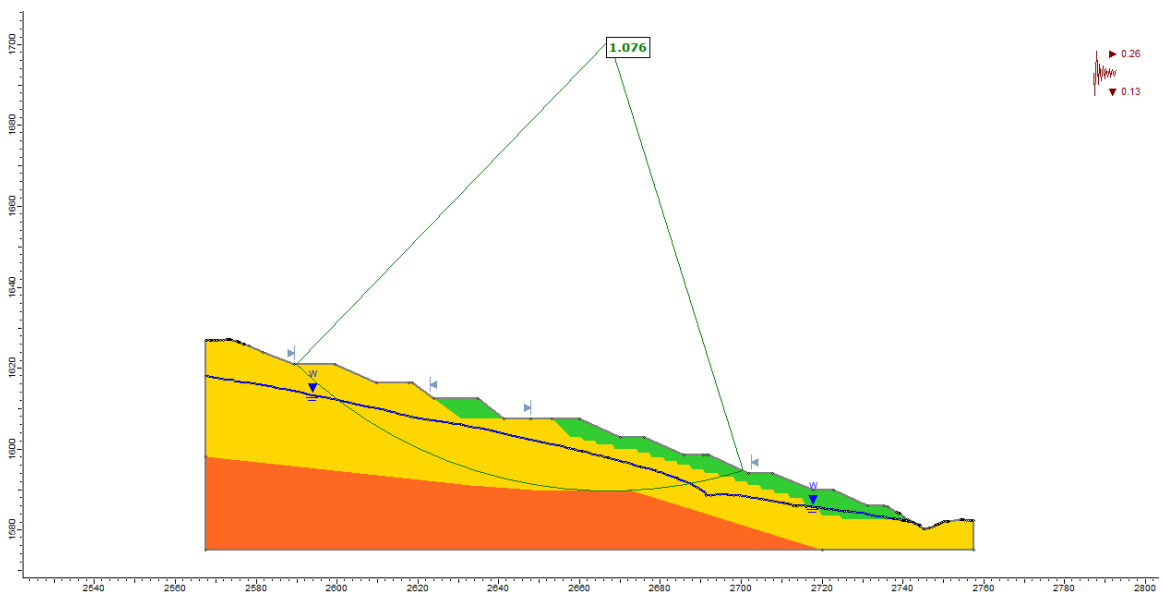


Figura 50: Factor de seguridad global en condición pseudoestática, propuesta definitiva

Adicionalmente se realizó la verificación de la estabilidad en condición pseudoestática para la primera terraza que tiene relleno dado que este mismo no es continuo (ver figura 51).

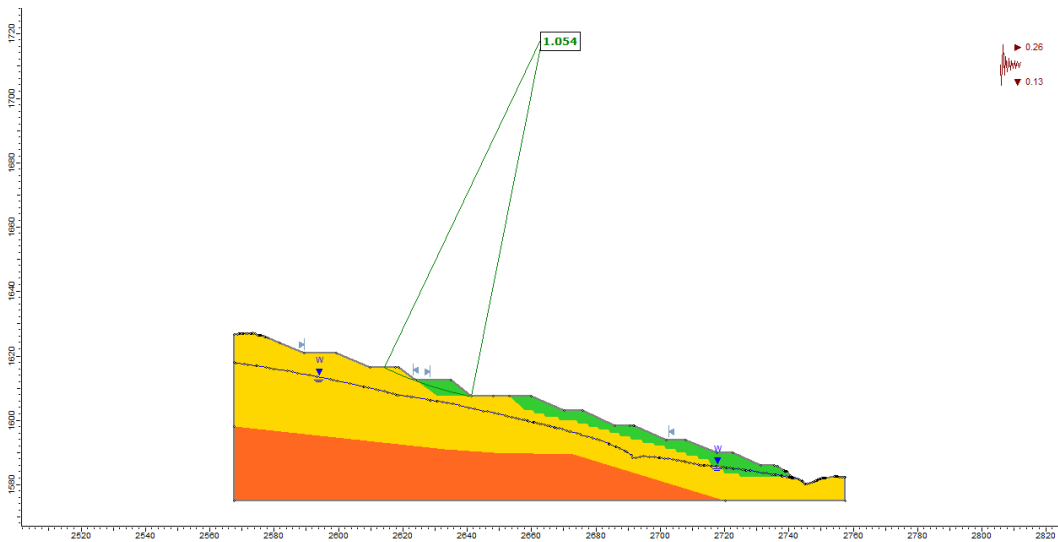


Figura 51: Factor de seguridad puntual para la terraza sin relleno continuo en condición pseudoestática.

En resumen, el análisis de los modelos demuestra que se cumplen los factores de seguridad globales establecidos en las restricciones de diseño en condición estática y pseudoestática (ver numeral 2.3).

El detalle de este capítulo se encuentra en “ANEXO 2: Cálculos, modelo y escenarios de la propuesta de estabilidad geotécnica”.

5.3. Manto para el control de erosión

El manto para el control de erosión de las terrazas anteriormente mencionadas se tuvo en consideración por las condiciones climáticas de la zona, teniendo en cuenta que el factor detonante de la problemática presente se debe a el agua. Se realizó el cálculo para determinar el manto que cumpla con la metodología de diseño, establecida en el libro de diseño de infraestructura con geosintéticos, específicamente con enfoque a la protección de taludes, se emplea la ecuación universal de pérdida de suelo revisada (RUSLE) escrita de la siguiente manera:

Ecuación 1: Pérdida de suelo revisada RUSLE

$$A = R * K * L * S * C * P$$

Donde:

A: Pérdida calculada del suelo

R: Factor de Erosividad – Precipitación – Escorrentía

K: Factor de erosionabilidad del suelo

L: Factor a lo largo de la pendiente

S: Factor de magnitud de la pendiente

C: Factor de cobertura

P: Factor de prácticas de apoyo de conservación

Se determinó cada variable acorde a las condiciones establecidas, obteniendo como resultado una pérdida de suelo de 0.06 cm al año, cumpliendo con el criterio decretado por la metodología de diseño, que establece que el valor máximo de pérdida de suelo es de 0.0762 cm al año, con respecto al resultado es evidente que cumple y no es necesario la implementación de un manto de control de erosión, estando muy cercano al valor máximo, por ende, acorde a las circunstancias de recopilación de información para su debido cálculo, teniendo en cuenta la variación que se puede tener en el tiempo, se determina su implementación para evitar tener inconvenientes a futuro de un manto de control de erosión tipo permanente no tejido (TRM 500), que contara con un anclaje en la corona del talud con sus respectivas dimensiones (ver figura 52), un anclaje en talud de 2 anclajes/m² con grapas en forma de U (varilla 3/8", 20 cm efectivos por lado).

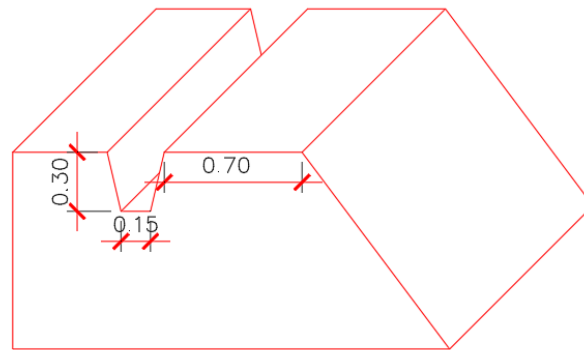


Figura 52: Dimensiones del anclaje de corona del talud para manto de control de erosión.



Figura 53: Manto permanente no tejido (TRM500), con anclajes de talud.

5.4. TECDREN

Como medida adicional se propone la colocación de un TECDREN (PAVCO), este elemento cumple con la función de un manto filtrante. La ubicarse en todo el perímetro de las terrazas separando el material cortado y el relleno actuando como un elemento tipo dren para las aguas subterráneas.

Particularmente este elemento de PAVCO consta de dos elementos, el primero es una lámina modular impermeabilizante con pequeñas deformaciones en toda su extensión, por medio de un proceso térmico se adhiere un geotextil No tejido punzado con agujas que permite únicamente el paso del agua. De esta manera se obtiene un dren altamente

resistente a la compresión y con una altísima capacidad de transportar agua de manera longitudinal (ver figura 54).

Este ubica la cara gel geotextil No tejido en la dirección donde se espera provenga el agua, en este caso es el terreno natural que ha sido cortado. De esta manera el agua subterránea ingresa, se retiene entre el geotextil y la lámina modular y por la pendiente se transporta por medio del espacio generado entre los dos elementos. Adicionalmente, a los TECDREN se conectan los drenes horizontales que provienen de las terrazas para así evacuar el agua almacenada y transportarla hasta el descole final en la Quebrada El Cafetero (ver figura 55).



Figura 54: Estructura del TECDREN

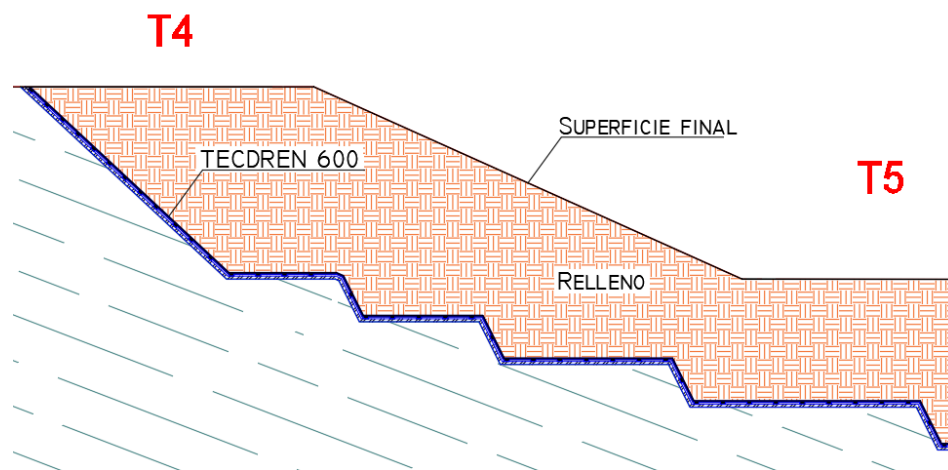


Figura 55: Localización de la Geomalla entre el terreno natural cortado y el relleno de la propuesta final

6. Hidrología

El estudio hidrología realizado en esta zona, se desarrolló teniendo en cuenta las quebradas llamadas Cafetero y Agua Blancas, siendo las más principales que tienen paso por esta zona de influencia. La recopilación de la información fue obtenida de distintas entidades como: la Universidad del Valle para su estudio hidrológico utilizaron datos históricos de precipitación registrados de las estaciones pluviométricas, pluviograficas y climatológicas de medición de CVC, CENICAFE e IDEAM ubicadas en zonas cercanas de la zona de estudio. Por otro lado, Geocing recopiló la información por medio del Instituto Geográfico Agustín Codazzi, IGAC y el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia, IDEAM. Lo cual se desarrolló con el objetivo de obtener los caudales máximos y curvas de IDF de la quebrada Cafetero para diferentes periodos de retorno como también proponer las estructuras que proporcionen un drenaje superficial con una sustentable para el proyecto en estudio.

6.1. Precipitación

Para la selección de las estaciones con las que se contaría para la recopilación de la precipitación se tuvo en cuenta unos criterios como cobertura espacial, tiempo de registro (con 20 o más años de registro), calidad de la información (porcentajes de datos faltantes,

graficas de dispersión, varianza, análisis de media e histogramas), estas estaciones deben estar dentro del periodo de 1980-2010, partiendo de un total de 10 estaciones seleccionadas para desarrollar el estudio (ver Tabla 7).

Tabla 7: Estaciones seleccionadas que cumplieron con los criterios para el análisis de precipitación.

Estación	Norte	Este	Altura (msnm)
Alegrías	943388	1134460	2290
La Camelia	970848	1137949	1245
El Corozal	978098	1129238	1158
Cumbarco	954642	1138253	1740
El Alambrado	979542	1133439	1100
Galicia	954104	1114468	1174
Heraclio Uribe	963657	1128877	1540
Irlanda	954117	1123722	1663
San Marcos	960323	1115968	1250
El Alcázar	968357	1117823	963

En la Figura 56 se muestra la ubicación de las estaciones utilizadas en el estudio.

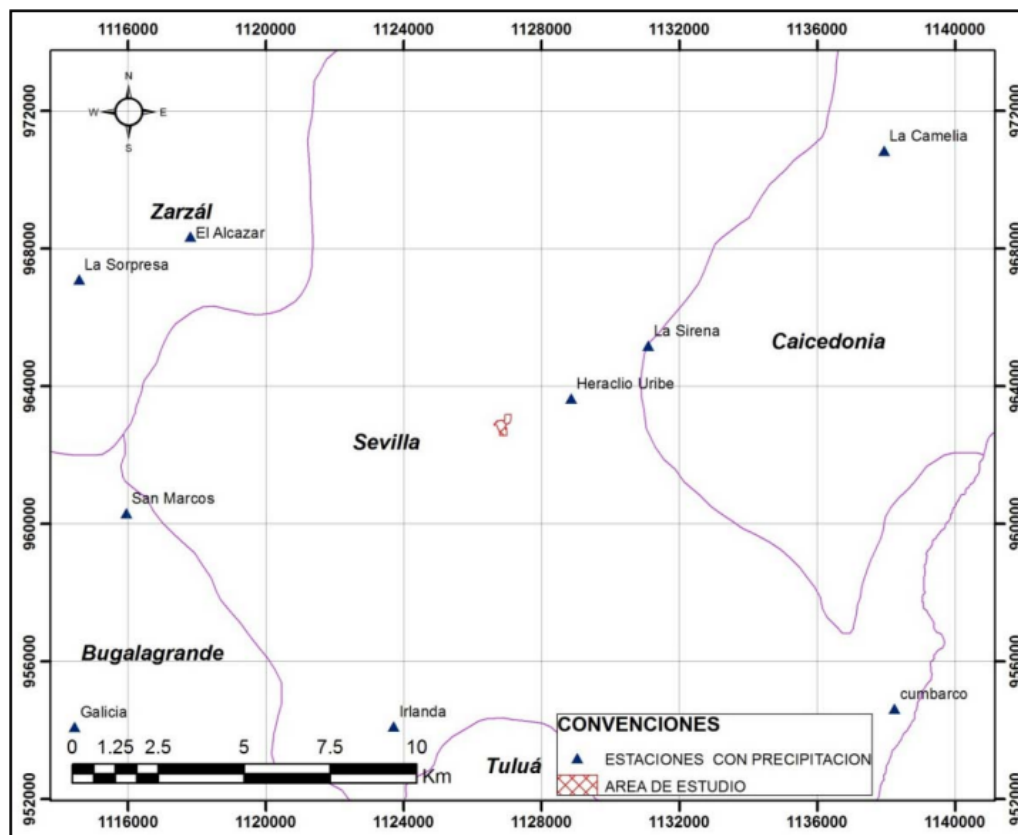


Figura 56: Ubicación de estaciones meteorológicas utilizadas en el estudio Univalle (2011).

La distribución espacial se determinó por medio de la interpolación del modelo Kriging a partir de la información de las estaciones, empleando un ajuste de la autocorrelación para la asignación y así generar un menor porcentaje de error en el proceso, en donde se obtuvieron resultados mensuales (ver Tabla 8).

Tabla 8: Distribución espacial de la precipitación mensual en el área de estudio. Univalle (2011).

Mes	Variación (mm)	Dirección
Enero	116-119	Norte - Sur
Febrero	117-120	Nor Oeste – Sur Este
Marzo	187-190	Nor Oeste – Sur Oeste
Abril	263-265	Oeste – Este
Mayo	214-216	Oeste – Este
Junio	139-141	Nor Este – Sur Oeste
Julio	102-103	Norte – Sur
Agosto	101-102	Nor Este – Sur Oeste
Septiembre	170-172	Nor Oeste – Sur Este
Octubre	262-266	Nor Oeste – Sur Este
Noviembre	241-246	Nor Oeste – Sur Este
Diciembre	171-176	Nor Oeste – Sur Este

Se logra evidenciar que en los meses que presento menor variación (en milímetros) fue en julio (102-103) y agosto (101-102) y por otro lado los meses que presenta mayor variación en la precipitación fue en noviembre (241-246) y diciembre (171-176), en donde también se evidencia que en las direcciones en las que estas ocurren más en el año es en dirección Nor Oeste – Sur Este.

El régimen de humedad se obtuvo por medio de la estación Heraclio Uribe la cual es la ubicada más cerca de la zona de estudio, En la Figura 57 se muestra la distribución mensual de la precipitación en la estación Heraclio Uribe.

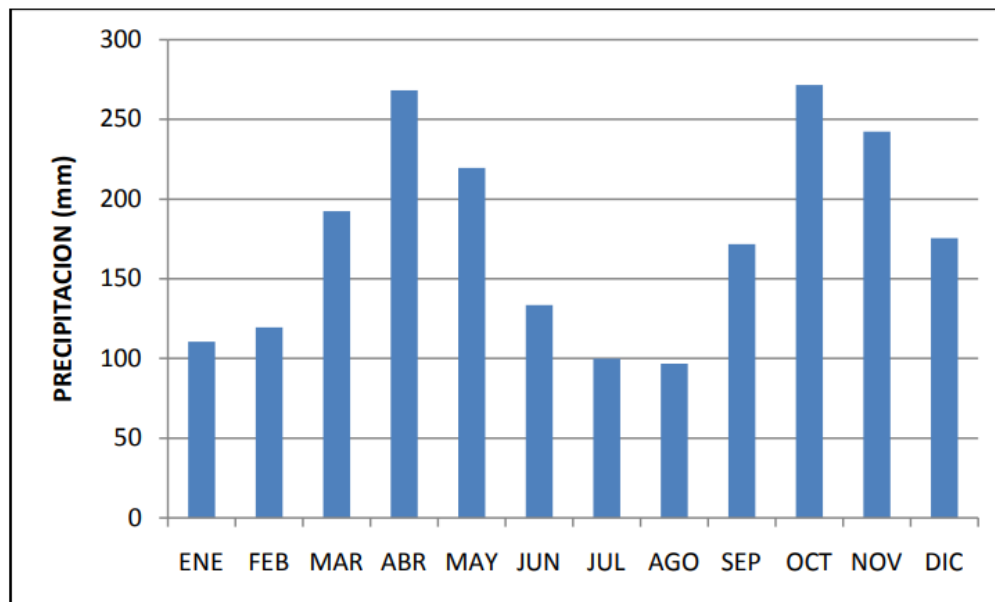


Figura 57: Distribución espacial mensual multianual de la precipitación de la estación Heraclio Uribe (1972-2010).

Acuerdo con la Figura anterior se evidencia que hay dos periodos secos de enero - febrero y julio – agosto y dos periodos húmedos marzo – mayo y septiembre – diciembre, siendo agosto el mes más seco (precipitación en promedio multianual 96,7 mm), mientras que el mes con más lluvia fue octubre (precipitación promedio multianual 271,5 mm).



Figura 58: localización estación pluviométrica Heraclio Uribe

7. Hidráulica

A continuación, se presenta el diseño hidráulico de los elementos utilizados para el manejo de las aguas subterráneas y superficiales en la zona afectada, de acuerdo con la información hidrológica (ver numeral 6) se presenta el siguiente resumen de la cuenca El Cafetero (ver tabla 9):

Tabla 9: Características de la cuenca El Cafetero

Cuenca	Área (km²)	Longitud (km)	Pendiente media (m/m)
Quebrada Cafetero	0.055	0.2	0.107

7.1. Cunetas

Como estrategia para el manejo de las aguas lluvias superficiales caída en sitio y producto de la escorrentía se proponen estructuras de drenaje tipo cunetas a lo largo de todas las terrazas. Estas tienen como objetivo prevenir la humedad excesiva en el terreno y transportar el agua de manera eficiente hasta disponerse de manera segura en la quebrada El Cafetero.

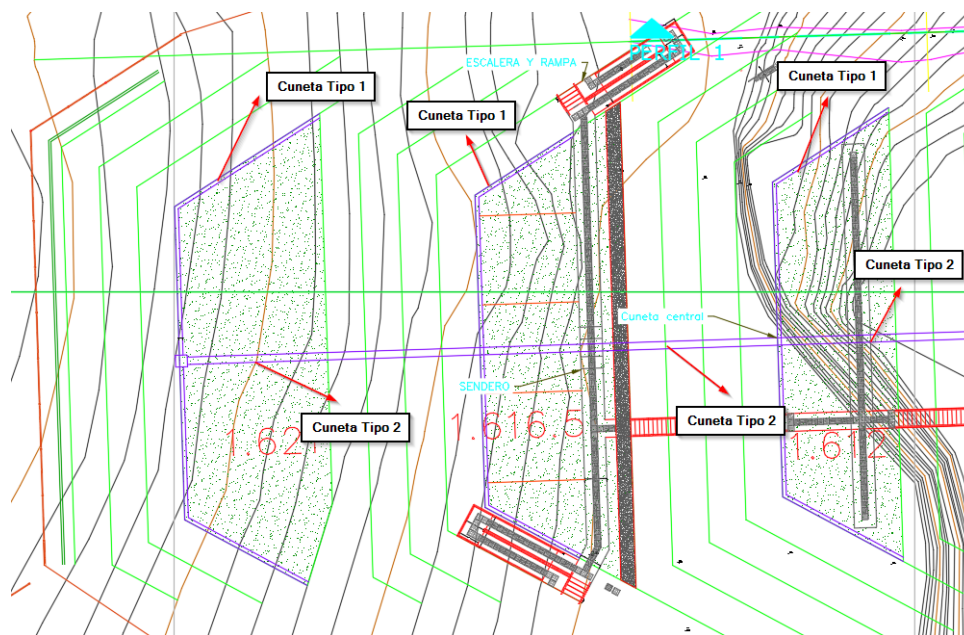


Figura 59: Localización en planta de cuentas propuestas

Para el diseño hidráulico de las cunetas, se utiliza el método racional para estimar el caudal a transportar de cada uno de los elementos:

Ecuación 2 2: Ecuación del método racional

$$Q = 0.278 . C . I . A$$

Donde:

Q: Caudal (m³/s)

C: Coeficiente de escorrentía

I: Intensidad de precipitación (mm/h)

A: Área aportante a la cuneta (Ha)

A partir de la información disponible en el manual de drenaje para carreteras (INVIAS) se tiene:

- Tiempo de concentración (Tc)

El cálculo para el tiempo de concentración en la cuenca se determina con base en la ecuación de Kirpich

Ecuación 3: Ecuación de Kirpich

$$T_c = 0.06628 \left(\frac{L}{S^{0.5}} \right)^{0.77}$$

Donde:

Tc: Tiempo de concentración (horas)

L: Longitud del cauce principal (km)

S: Pendiente del cauce principal (m/m)

De acuerdo con la información hidrológica (ver tabla 9) se obtiene el tiempo de concentración

$$T_c = 0.06628 * \left(\frac{0.2}{0.107^{0.5}} \right)^{0.77} = 0.04538 \text{ h} = 2.723 \text{ min}$$

Dado que el tiempo de concentración es inferior a los 15 minutos ($T_c = 2.723 \text{ min} < 15 \text{ min}$) se utiliza este valor para el diseño de las cunetas de acuerdo con la recomendación del manual.

- Periodo de retorno (T)

La selección del periodo de retorno se realiza de acuerdo con el tipo de obra de drenaje que se va a realizar (ver figura 60)

TIPO DE OBRA	PERIODO DE RETORNO (AÑOS) ¹
Cunetas	5
Zanjas de Coronación ²	10
Estructuras de Caída ²	10
Alcantarillas de 0.90 m de diámetro	10
Alcantarillas mayores a 0.90 m de diámetro	20
Puentes menores (luz menor a 10 m)	25
Puentes de luz mayor o igual a 10 m y menor a 50 m	50
Puentes de luz mayor o igual a 50 m	100
Drenaje subsuperficial	2

Figura 60: Periodo de retorno recomendado para cada tipo de obra hidráulica

De manera conservadora se escoge un periodo de retorno (T) equivalente a 10 años dado que las cunetas propuestas tienen un funcionamiento similar a las zanjas de coronación y las estructuras de caída.

- Coeficiente de escorrentía (C)

El coeficiente de escorrentía se define en función del tipo de área de drenaje, la vegetación y topografía (ver figuras 61 y 62).

TIPO DE ÁREA DE DRENAJE	COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA C
PRADOS	
Suelos arenosos, planos, 2%	0.05 - 0.10
Suelos arenosos, promedio, 2 -7 %	0.15 - 0.20
Suelos pesados (arcillosos), planos, 2%	0.13 - 0.17
Suelos pesados (arcillosos), promedio, 2 -7 %	0.18 - 0.22
Suelos pesados (arcillosos), pendientes, 7%	0.25 - 0.35
DISTRITOS COMERCIALES	
Áreas de centro de ciudad	0.70 - 0.95
Áreas vecinas	0.50 - 0.70
RESIDENCIAL	
Casas individuales separadas	0.30 - 0.50
Casas multifamiliares separadas	0.40 - 0.60
Casas multifamiliares unidas	0.60 - 0.75
Suburbana	0.25 - 0.40
Áreas de apartamentos de vivienda	0.50 - 0.70
INDUSTRIAL	
Áreas livianas	0.50 - 0.80
Áreas pesadas	0.60 - 0.90
PARQUES CEMENTERIOS	0.10 - 0.25
CAMPOS DE JUEGOS	0.20 - 0.35
ÁREAS DE PATIOS DE FERROCARRILES	0.20 - 0.40
ÁREAS NO DESARROLLADAS	0.10 - 0.30
CALLES	
Asfaltadas	0.70 - 0.95
Concreto	0.80 - 0.95
Ladrillo	0.70 - 0.85
CALZADAS Y ALAMEDAS	0.75 - 0.85
TECHOS	0.75 - 0.95

Figura 61: Coeficiente de escorrentía de acuerdo con el área de drenaje (1)

VEGETACIÓN Y TOPOGRAFÍA Y	TEXTURA DEL SUELO		
	FRANCO ARENOSO	FRANCO LIMO ARCILLOSO	ARCILLOSO
BOSQUES			
Plano	0.10	0.30	0.40
Ondulado	0.25	0.35	0.50
Montañoso	0.30	0.50	0.60
PASTOS			
Plano	0.10	0.30	0.40
Ondulado	0.16	0.36	0.55
Montañoso	0.22	0.42	0.60
TIERRAS CULTIVADAS			
Plano	0.30	0.50	0.60
Ondulado	0.40	0.60	0.70
Montañoso	0.52	0.72	0.82

Nota: Plano (pendiente 0 - 5%); Ondulado (pendiente 5 - 10%); Montañoso (pendiente 10 - 30%). Para valores mayores al 30 %, a falta de datos, utilizar los valores para pendientes entre el 10 y el 30 %.

Figura 62: eficiente de escorrentía de acuerdo con el área de drenaje (2)

Para la propuesta se manejan dos valores del coeficiente de escorrentía en función de la zona de la terraza (zona inclinada y el pie del talud).

En la zona inclinada del talud se propone un coeficiente de escorrentía de 0.75 de manera conservadora dado que sobre esta misma ubicación se dispone un manto para el control de erosión (ver numeral 5.3) que favorece la escorrentía.

En cuanto al pie del talud se escoge una escorrentía de 0.424, que se obtiene por medio de un ponderado de los tipos de suelo presentes en la zona calculado por Geocing (2014). (ver tabla 10)

Tabla 10: Coeficiente de escorrentía ponderado

Tipo de suelo	C	% participación
C1 - Suelo residual	0.22	70.00%
C2- Suelo relleno	0.90	30.00%
C ponderado	0.424	100.00%

- Intensidad de precipitación (I)

Para determinar la intensidad de precipitación se hace uso de las curvas IDF obtenidas de la estación pluviométrica “Heraclio-Uribe” en cercanías al municipio de Sevilla (ver figura 63).

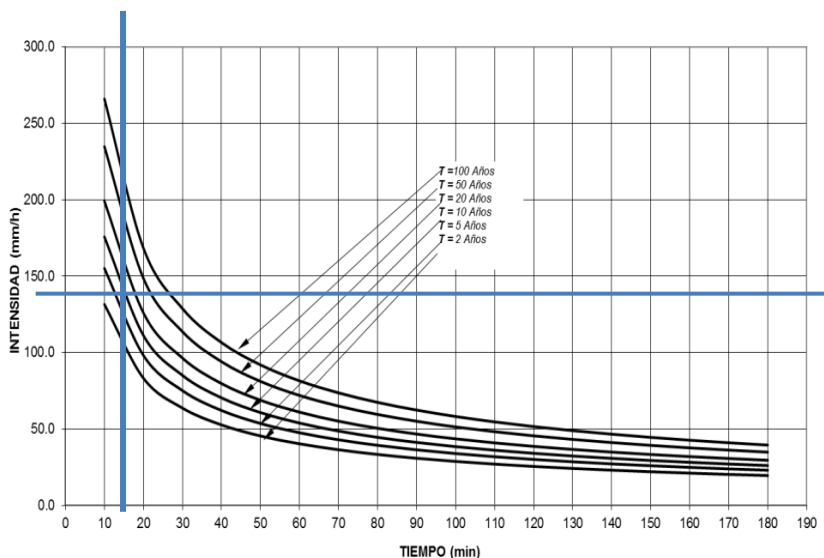


Figura 63: Curvas IDF estación Heraclio - Uribe

Con base en las características del periodo de retorno y el tiempo de concentración definidas previamente se extrapola de la gráfica la intensidad de precipitación (ver tabla 11)

Tabla 11: intensidad de precipitación *i*

Periodo de retorno seleccionado T (años)	Tc (min)	i (mm/h)
10	15.00	140.00

Una vez se definen las propiedades hidráulicas e hidrológicas de la zona de interés se estima el caudal presente de acuerdo con el área de influencia de la estructura propuesta (ver ecuación 1).

7.1.1. Cuneta Tipo 1

La cuneta tipo 1 es la encargada de recolectar y transportar el agua superficial que cae sobre la superficie inclinada de las terrazas, como se muestra en la figura 65. A partir

de las áreas de cada una de las terrazas y las características hidráulicas definidas en el literal 7.1 Se realiza el diseño geométrico de la sección de la cuneta y su respectiva verificación con el software HEC – RAS.

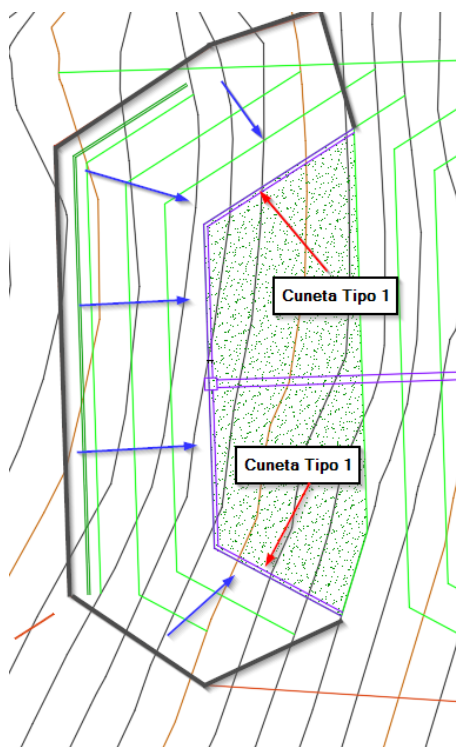


Figura 64: Área aferente para las cunetas tipo 1

En primer lugar, se realiza el cálculo del área de la zona inclinada de cada una de las nueve terrazas propuestas (ver tabla 12).

Tabla 12: Caudales calculados para la zona inclinada de cada terraza

Caudales zona inclinada terrazas			
Terraza	área (m ²)	Q (m ³ /s)	Longitud canal (m)
1	326.487	0.0095	42.1680
2	453.517	0.0132	44.2620
3	527.032	0.0154	39.7890
4	562.782	0.0164	47.8520
5	432.244	0.0126	36.4510
6	376.422	0.0110	32.6410
7	328.637	0.0096	28.6230
8	288.12	0.0084	22.0040
9	171.216	0.0050	13.1240

Continuando, se selecciona el caudal más crítico calculado para realizar el diseño de la sección geométrica de acuerdo con la teoría de cunetas revestidas con sección más eficiente. Se propone el uso de cunetas rectangulares revestidas en concreto dada su facilidad constructiva y sencillo mantenimiento. Se obtienen las siguientes dimensiones para la cuenta Tipo 1 (ver tabla 13)

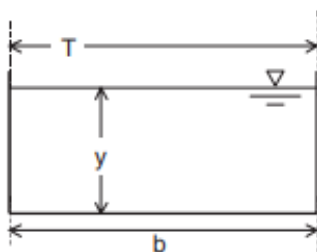


Figura 65: Sección típica para cunetas rectangulares

Tabla 13: Geometría propuesta para Cuneta Tipo 1

Tipo	b (m)	Rugosidad (n)	Y (m)	S (m/m)	Y total construible (m)	T (m)	Froude	V (m/s)
Rectangular	0.25	0.014	0.10	0.004	0.35	0.25	0.664	0.657

Adicionalmente se realiza la modelación de la cuneta con el software Hec-Ras, en donde se obtienen los siguientes resultados (ver figura 66).

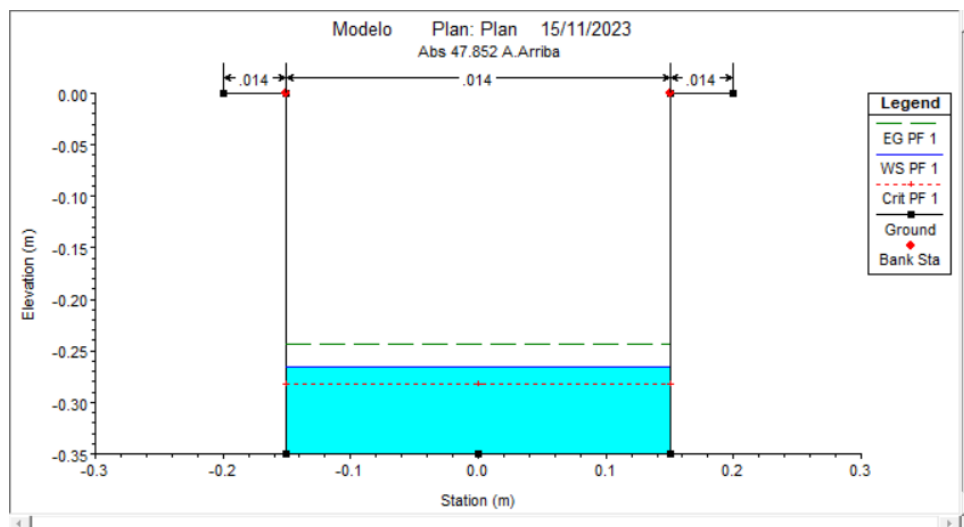


Figura 66: Sección transversal cuenta tipo 1

Tabla 14: Resultados de la modelación en Hec-Ras, cuneta tipo 1

Estación	Q Total (m ³ /s)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude
47.85	0.02	-0.24	0.00402	0.65	0.03	0.3	0.71
43.86	0.02	-0.26	0.00399	0.65	0.03	0.3	0.71
39.88	0.02	-0.28	0.00402	0.65	0.03	0.3	0.71
34.89	0.02	-0.3	0.00399	0.65	0.03	0.3	0.71
30.90	0.02	-0.31	0.00402	0.65	0.03	0.3	0.71
26.92	0.02	-0.33	0.00399	0.65	0.03	0.3	0.71
24.92	0.02	-0.34	0.00400	0.65	0.03	0.3	0.71
20.94	0.02	-0.35	0.00397	0.64	0.03	0.3	0.71
18.94	0.02	-0.36	0.00396	0.64	0.03	0.3	0.71
16.95	0.02	-0.37	0.00396	0.64	0.03	0.3	0.71
13.96	0.02	-0.38	0.00395	0.64	0.03	0.3	0.7
10.97	0.02	-0.39	0.00388	0.64	0.03	0.3	0.7
8.97	0.02	-0.4	0.00385	0.64	0.03	0.3	0.69
5.98	0.02	-0.41	0.00402	0.65	0.03	0.3	0.71
3.99	0.02	-0.42	0.00405	0.65	0.03	0.3	0.71
1.99	0.02	-0.43	0.00403	0.65	0.03	0.3	0.71
0	0.02	-0.44	0.00400	0.65	0.03	0.3	0.71

De acuerdo con los resultados obtenidos se concluye que la geometría propuesta para la cuneta tiene la capacidad de transportar de manera adecuada el caudal solicitado, además se verifica que el régimen del agua no sea crítico (Froude ~ 1) y una velocidad mínima (0.6 m/s) que evite la sedimentación de sólidos y el crecimiento de vegetación.

7.1.2. Cuneta Tipo 2

Las cunetas tipo 2, son las encargadas de recoger el agua de la zona plana de cada terraza y transportarla de manera transversal hasta su disposición en la quebrada El Cafetero, para este tipo de cuneta el caudal va aumentando progresivamente a medida que avanza en dirección de la quebrada, esto debido a que acumula el caudal de las terrazas superiores. Se realiza el diseño geométrico de la sección de la cuneta y su respectiva verificación con el software HEC – RAS.

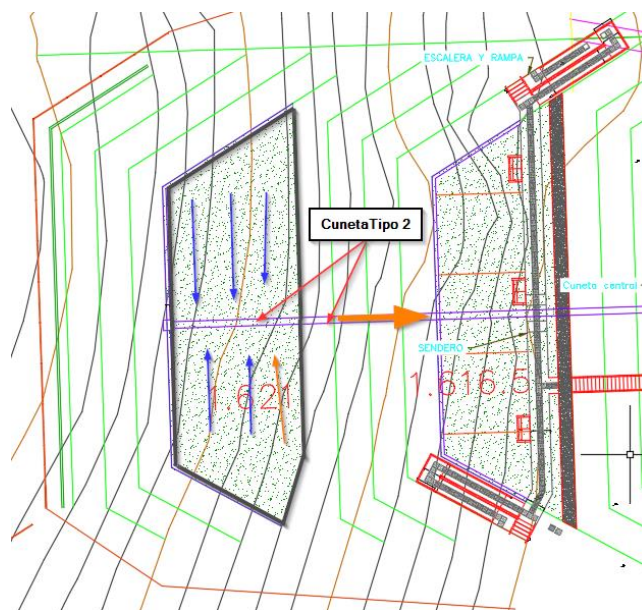


Figura 67: Área aferente para las cunetas Tipo 2

De acuerdo con lo mencionada anteriormente el cual más crítico se encuentra en la zona inferior (novena terraza) en donde se acumula la totalidad del flujo. De igual forma

que en la cuneta tipo 1, lo primero es determinar el valor del caudal de diseño (ver tabla 15).

Tabla 15: Caudales de diseño para cuneta tipo 2

Caudales diseño de cuneta tipo 2					
Terraza	Q (m ³ /s)	Longitud canal sobre la terraza(m)	Longitud canal inclinada (m)	Pendiente del talud (m/m)	Desnivel (m)
1	0.0138	10.0000	11.2400	0.4369	4.9107
2	0.0315	8.9200	6.7000	0.7407	4.9630
3	0.0502	10.9500	8.1500	0.7752	6.3178
4	0.0720	18.6000	11.0000	0.4500	4.9500
5	0.0872	6.0000	10.9000	0.4545	4.9545
6	0.1003	6.0000	11.0000	0.4545	5.0000
7	0.1117	6.0000	10.7000	0.4040	4.3232
8	0.1212	5.0000	9.5000	0.4624	4.3931
9	0.1267	4.0000	6.8000	0.5660	3.8491

De manera particular este tipo de cunetas al disponerse lisas sobre la zona inclinada de las terrazas se debe garantizar la No erosión del concreto, por ello se verifica la velocidad máxima que admite el canal revestido en concreto (ver figura 68).

MATERIAL	VELOCIDAD MÁXIMA (m/s)
Ladrillo común	3.0
Ladrillo vitrificado	5.0
Arcilla vitrificada (gres)	4.0
Concreto 175 kg/cm ²	6.0
Concreto 210 kg/cm ²	10.0
Concreto 280 kg/cm ²	15.0
Concreto 350 kg/cm ²	20.0

Figura 68: Velocidades máximas permitidas en canales artificiales

Dada la naturaleza del canal propuesto y el incremento progresivo en su caudal se proponen cambios de secciones en la cuneta para promover un transporte más eficiente y adecuado del agua de acuerdo con el caudal solicitado. Se evalúan las condiciones de la cuneta, la primera cuando se ubica en el pie del talud de manera horizontal y la segunda cuando se encuentra en la zona inclinada de talud. Este segundo escenario se evalúa con ayuda de los modelos en Hec-Ras (ver figuras 69 a 74)).

Tabla 16: Geometría propuesta para la cuenta tipo 2 de acuerdo con la ubicación en las terrazas

Terraza	b (m)	Rugosidad (n)	Y (m)	S (m/m)	Y total construible (m)	T (m)	Froude	Vmax Pie talud (m/s)	Vmax zona inclinada (m/s) *
1	0.25	0.014	0.125	0.005	0.35	0.25	0.760	0.91	5.37
2 a 6	0.50	0.014	0.110	0.005	0.50	0.50	0.875	1.11	6.24
7 a 9	0.60	0.014	0.18	0.005	0.50	0.60	0.886	1.17	5.84

* Se determina la velocidad máxima que alcanza la cuneta en las zonas inclinadas de las terrazas con el modelo en Hec-Ras.

Para la cuneta Tipo 2 en la terraza 1 se obtuvo:

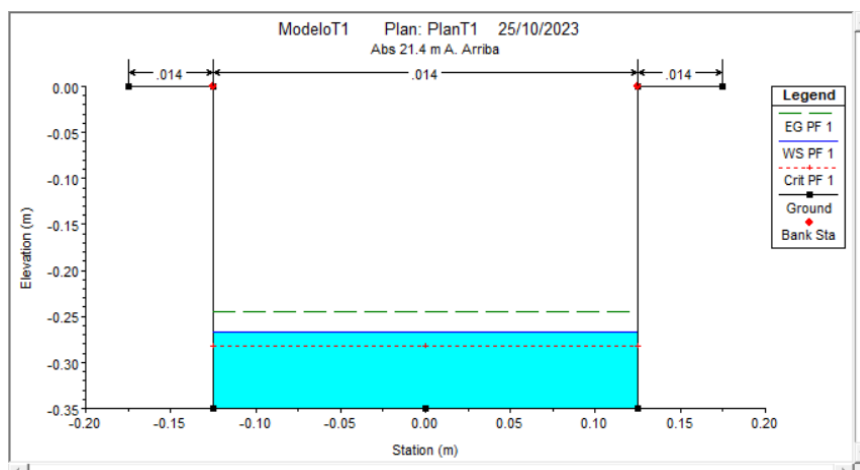


Figura 69: Modelo de sección transversal, cuenta tipo 2, Terraza 1

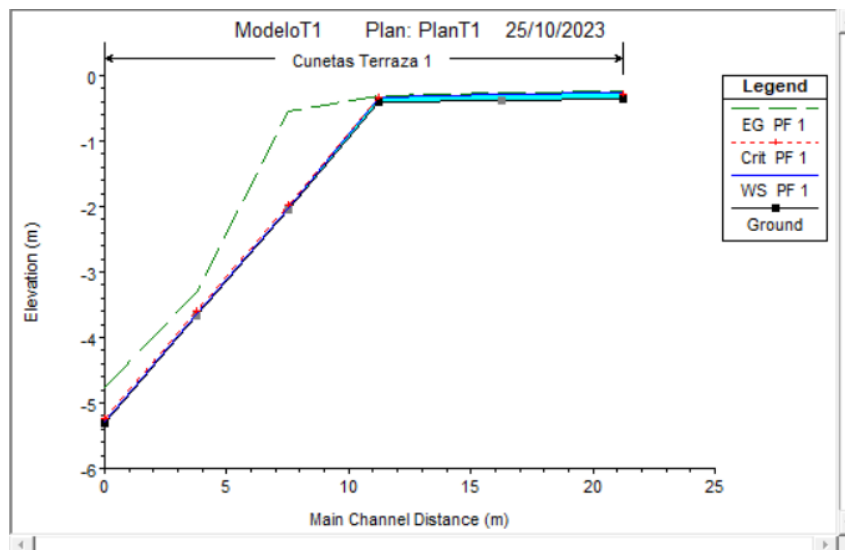


Figura 70: Modelo del perfil para cuneta tipo 2, Terraza 1

Tabla 17: Resultados de la modelación en Hec-Ras para cuneta tipo 2, Terraza 1

Reach	Estación	Q Total (m ³ /s)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude
Terraza 1	21.2	0.01	-0.24	0.0048	0.67	0.02	0.25	0.74
Terraza 1	15.6	0.01	-0.27	0.0043	0.64	0.02	0.25	0.70
Terraza 1	10.0	0.01	-0.3	0.0084	0.82	0.02	0.25	1.00
Terraza 1	6.7	0.01	-0.55	2.8146	5.37	0	0.25	16.93
Terraza 1	3.3	0.01	-3.31	0.2786	2.6	0.01	0.25	5.71
Terraza 1	0	0.01	-4.76	0.5559	3.24	0	0.25	7.92

Para la cuneta tipo 2 ubicadas en entre las terrazas 2 y 6 se obtuvo:

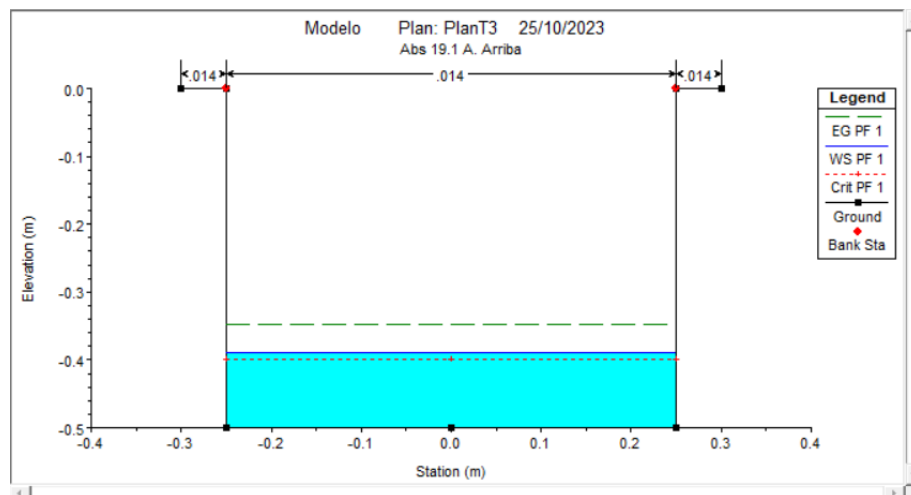


Figura 71: Modelo de sección transversal, cuenta tipo 2, Terraza 2 a 6

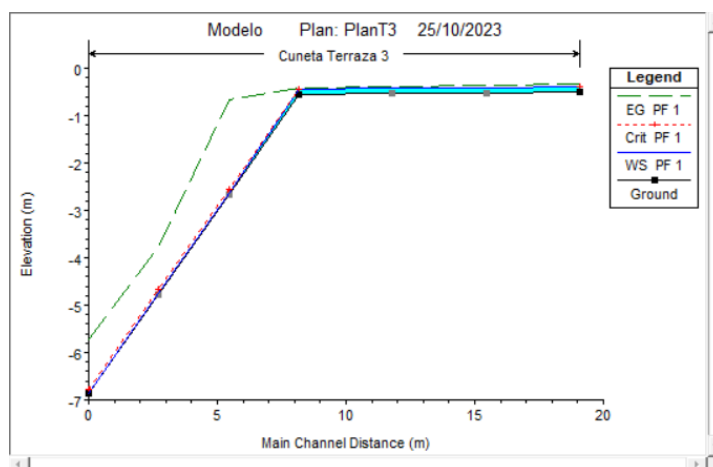


Figura 72: Modelo del perfil para cuneta tipo 2, Terraza 2 a 6

Tabla 18: Resultados de la modelación en Hec-Ras para cuneta tipo 2, Terraza 2 a 6

Reach	Estación	Q Total (m ³ /s)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude
Terraza 3	19.1	0.05	-0.35	0.0049	0.91	0.06	0.5	0.87
Terraza 3	16.4	0.05	-0.37	0.0049	0.91	0.06	0.5	0.87
Terraza 3	13.7	0.05	-0.38	0.0048	0.9	0.06	0.5	0.85
Terraza 3	11.0	0.05	-0.4	0.0065	0.99	0.05	0.5	1.00
Terraza 3	7.3	0.05	-0.66	2.0386	6.24	0.01	0.5	15.70
Terraza 3	4	0.05	-3.79	0.6264	4.33	0.01	0.5	9.09
Terraza 3	0	0.05	-5.73	0.8091	4.69	0.01	0.5	10.24

Finalmente, para las cunetas tipo 2 ubicadas entre las terrazas 7 y 9 se obtuvo:

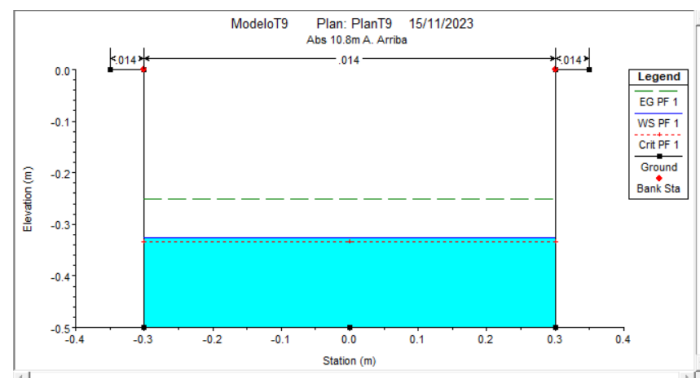


Figura 73: Modelo de sección transversal, cuenta tipo 2, Terraza 7 a 9

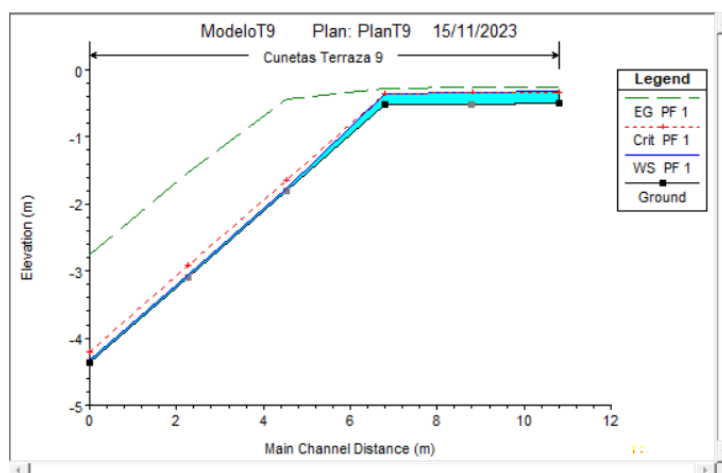


Figura 74: Modelo del perfil para cuneta tipo 2, Terraza 7 a 9

Tabla 19: Resultados de la modelación en Hec-Ras para cuneta tipo 2, Terraza 7 a 9

Reach	Estación	Q Total (m ³ /s)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude
Terraza 9	10.8	0.13	-0.25	0.0055	1.22	0.1	0.6	0.93
Terraza 9	7.4	0.13	-0.26	0.0058	1.24	0.1	0.6	0.96
Terraza 9	4.0	0.13	-0.27	0.0064	1.28	0.1	0.6	1.01
Terraza 9	2.7	0.13	-0.44	0.4211	5.09	0.02	0.6	7.99
Terraza 9	1.3	0.13	-1.52	0.5270	5.47	0.02	0.6	8.88
Terraza 9	0	0.13	-2.76	0.5557	5.56	0.02	0.6	9.11

A manera de conclusión se obtiene que las diferentes secciones propuestas de la cuneta tipo 2 permite un transporte adecuado del caudal, mantiene un régimen alejado del crítico ($Froude \neq 1$) y se logran velocidades menores a las máximas ($V < 10$ m/s) evitando erosión, sedimentación y el crecimiento de material vegetal en la sección propuesta. Con la verificación anterior se sustenta la construcción de los canales inclinados de manera lisa sin disipadores de energía. La única consideración constructiva es **utilizar como revestimiento concreto 210 kg/cm² o 3000 psi.**

En resumen, se proponen las siguientes cunetas dispuestas en las nueve terrazas:

Tabla 20: Dimensiones para las cunetas Tipo 1 y 2

Tipo cuneta	Terraza	b (m)	Y construible (m)	Revestimiento
Tipo 1	1 a 9	0.25	0.35	Concreto 3000 psi
	1	0.25	0.35	
Tipo 2	2 a 6	0.5	0.5	
	7 a 9	0.6	0.5	

El diseño hidráulico a mayor detalle se encuentra en “ANEXO 3: Diseño hidráulico de cunetas tipo 1 y 2”

7.2. Cajas de recolección y distribución

Como complemento del drenaje superficial, se propone la construcción de cajas encargadas de conectar los diferentes tipos de cunetas en las terrazas y direccionar el flujo para su disposición final en la quebrada. (ver figura 75).

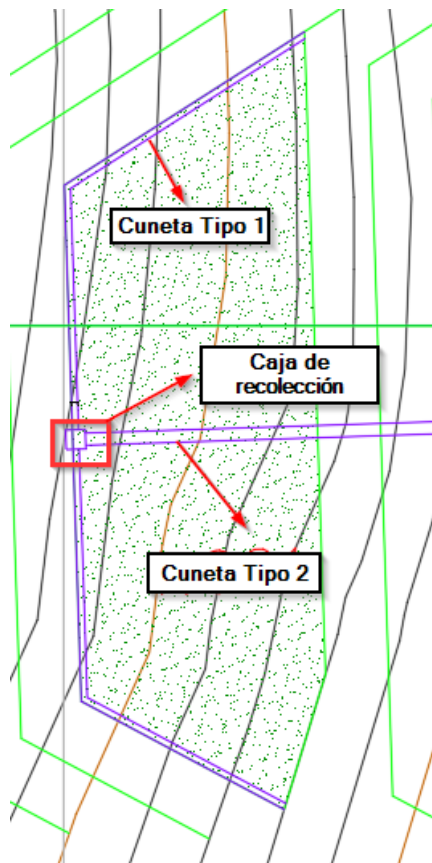


Figura 75: Localización típica de caja de recolección y distribución en las terrazas

Las cajas construidas en concreto permiten conectar de manera sencillas las diferentes secciones de las cunetas en un punto en común, adicionalmente actúa como disipador de energía dada la ligera caída que se presenta en cada una de sus conexiones, a continuación, se presenta el esquema de estas cajas (ver figura 76) y sus características geométricas (ver tabla 21).

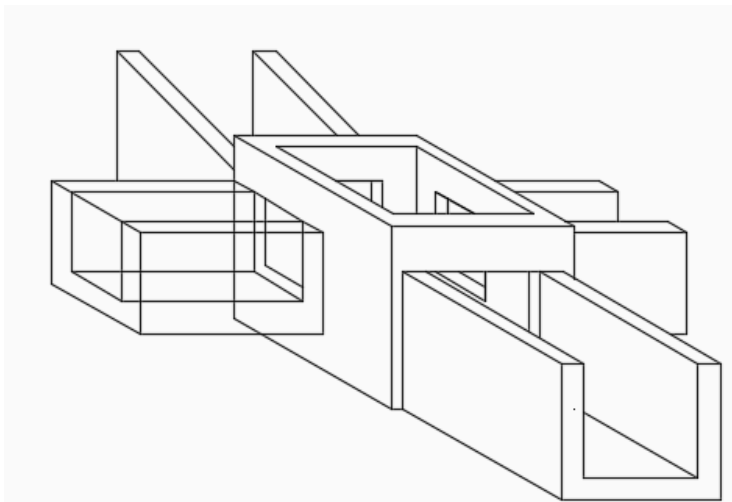


Figura 76: Esquema típico de la caja de recolección y distribución

Tabla 21: Geometría de la caja de recolección y distribución

Elemento	Largo (m)	Ancho (m)	Alto (m)	Material
Caja de recolección y distribución	0.80	0.80	0.80 *	Concreto 3000 psi

* En términos constructivos y de acuerdo con las dimensiones de las cunetas propuestas, se propone enterrar 60 cm la caja para un mejor enlace de las cunetas y un correcto encausamiento en la dirección deseada.

7.3. Trincheras drenantes

Dentro de la propuesta de diseño, las trincheras drenantes proponen una estructura de drenaje robusta y fundamental para la estabilidad de la zona afectada, esto se debe a que se encarga de abatir el nivel freático y almacenar y evacuar de manera adecuada parte de esa agua subterránea.

Las trincheras se disponen en tres locaciones de acuerdo con el perfil analizado y abarcan por completo la longitud del pie del talud. (ver figura 77 y 78)

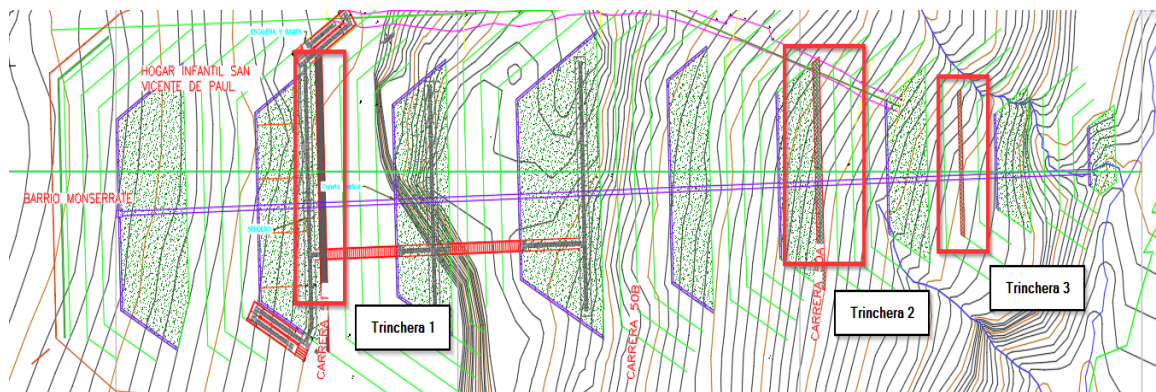


Figura 77: Localización en planta de las trincheras drenantes

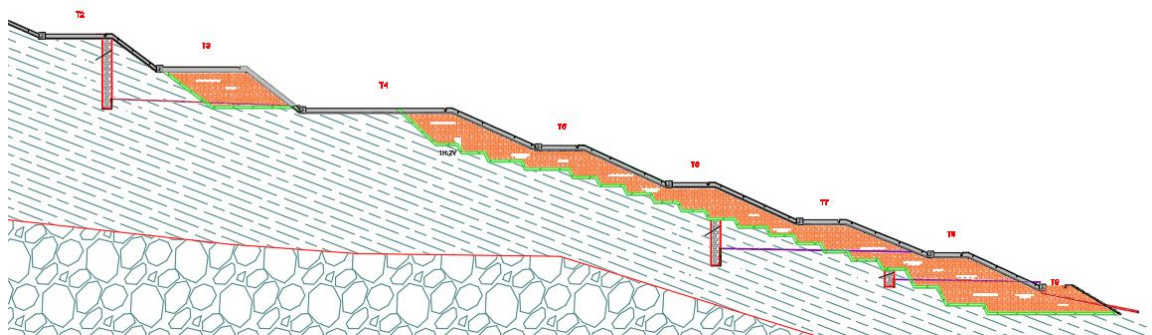


Figura 78: Localización en perfil de las trincheras drenantes

La estructura consiste en realizar una excavación longitudinal sobre las terrazas indicadas con un ancho de sección de 1.2m, posteriormente se rellena con material granular tipo grava con gradación de $\frac{3}{4}$ ", finalmente se extiende sobre la totalidad del perímetro excavado un geotextil No tejido NT 2000, el cual permite confinar el material granular y actúa como filtro que permite el paso de agua y a su vez como una barrera que impide el paso de material fino presente en el terreno natural (ver figura 79). Finalmente, el agua almacenada se transporta por medio de tuberías (ver numeral 7.3) y se entrega a las cunetas.

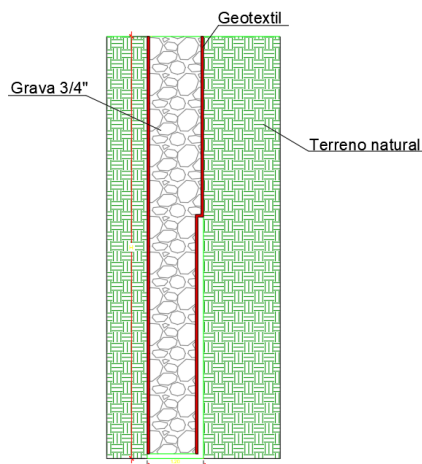


Figura 79: Detalle típico de las trincheras drenantes (Grava + Geotextil)

Las dimensiones propuestas para las tres trincheras drenantes se muestran a continuación (ver tabla 22).

Tabla 22: Dimensiones de las trincheras drenantes

Ubicación	Ancho (m)	Profundidad (m)	Longitud (m)
Terraza 2	1.2	9.0	32.8
Terraza 6 *	1.2	5.5	25.8
Terraza 8 *	1.2	2.0	16.3

* Las trincheras ubicadas en las terrazas 6 y 8 se construyen durante el proceso de conformación y relleno de las terrazas definitivas, es decir, quedaran cubiertas por el material de relleno al final de la intervención.

7.4. Drenes horizontales

Los drenes horizontales como propuesta para abatir el nivel freático presente en los taludes a conformar y como metodología de drenaje para las trincheras drenantes es estudiado con el fin de aportarle a la propuesta constructiva diferentes métodos para el manejo de las aguas subterráneas que están contenidas en el suelo de esta, a su vez, mitigando la presión hidrostática (ver figura 80).

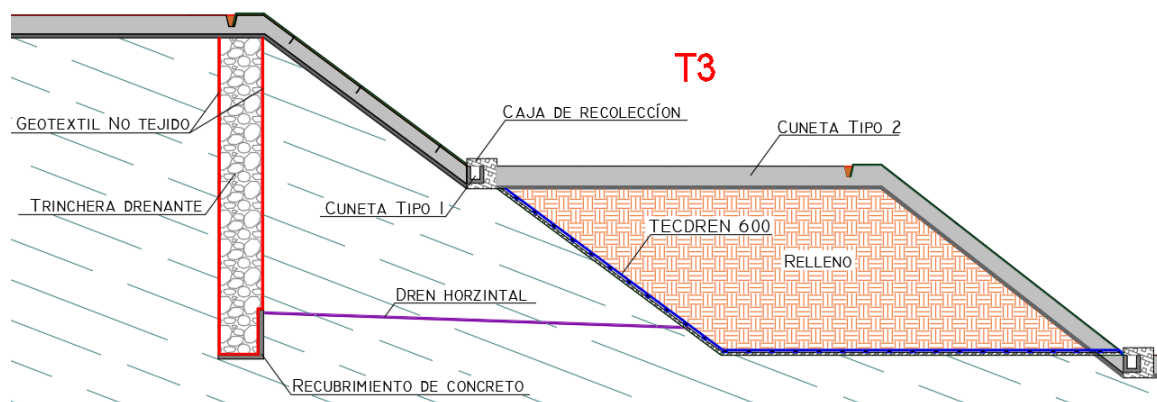


Figura 80: Localización del dren horizontal para evacuar el agua almacenada en las columnas de grava

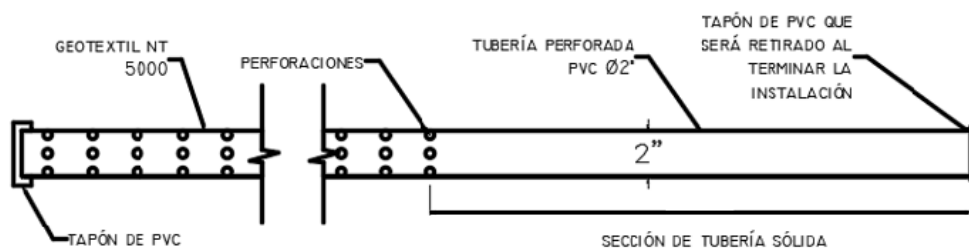


Figura 81: Vista en perfil y detalle de drenes horizontales.

La importancia de esta estructura radica en su capacidad para reducir la saturación del suelo, evitando debilitamiento de las estructuras del talud, facilitando el flujo del agua hacia puntos de salida controlados.

Como complemento los drenes se conectan al TECDREN para de esa manera transportar el agua de manera eficaz hasta la zona del descole.

El diseño de estas estructuras se realizó basado en el artículo 674-07 de la norma INVIAS, en el cual indica los parámetros de diseño de estos drenes horizontales y su metodología constructiva, dando como pautas las siguientes especificaciones:

- En el último tramo del dren horizontal, se utilizará tubería no ranurada que constituya la salida del dren. En este caso se usarán tres (3) metros para las trincheras 1 y 2, y sesenta (60) centímetros para la trinchera 3.

- El diámetro de la tubería de drenaje será de cincuenta milímetros (50mm), en material PVC perforada y solida en su longitud.

Para poder determinar la separación entre drenes a lo largo de la cara del talud, se determinó basarse en los estudios previos realizados por GEOCING donde por medio de la del modelo de cálculo de Kozeny se obtuvo una separación de cinco metros (5m) entre cada tubería y una separación de dos puntos cinco metros (2.5m) en los bordes de cada talud.

Las inclinaciones dadas para los drenes dependen de la terraza donde se encuentren y la salida a la cara del talud más cercana, dadas las pautas iniciales para la definición de la pendiente del dren horizontal, se determina una inclinación de dos grados (2°) respecto a la horizontal para el dren horizontal de la terraza superior (también llamada “terracea 1”), mientras que los otros dos drenes horizontales se estarán instalando con una pendiente de un grado (1°) debido a las limitaciones del terreno.

Adicionalmente, siguiendo lo constatado en el Artículo 673.2.1 de la norma INVIAS, se recubrirá la tubería ranurada por un geotextil que cumple las características mínimas consignadas en el artículo, siendo este del tipo no tejido con resistencia mínima la tensión Grab (N) de 1100, para eso se escoge un geotextil no tejido NT5000 de Pavco.

Las características para el diseño de los drenes horizontales se muestran en la tabla 23.

Tabla 23: características de los diseños para drenes horizontales

Dren	Tipo de tubería	Diámetro	Inclinación (°)	Longitud de tubería perforada (m)	Longitud tubería solida (m)	Geotextil No tejido
Trinchera 1	PVC	2”	2	11.5	3.0	NT 5000
Trinchera 2			1	13.0	3.0	
Trinchera 3			1	2.5	0.6	

7.5. Tratamiento temporal y permanente Quebrada El Cafetero.

De acuerdo con lo evidenciado en las cercanías a la Quebrada El Cafetero (ver figuras 82 y 83), para llevar a cabo la estabilización se requiere tratar el cauce de la

quebrada de manera temporal para la ejecución de la propuesta y de manera definitiva para garantizar la estabilidad en la zona inferior de los taludes.



Figura 82: Condición de inestabilidad cauce Quebrada El Cafetero(3-nov2023)



Figura 83: Condición de estanqueidad de la Quebrada El Cafetero (3-nov2023)

- En condición temporal se propone realizar el encauzamiento del agua por medio de una tubería sanitaria que permita circular el flujo del agua de manera ininterrumpida. Sobre esta se propone el relleno en material base granular tipo INVIAS que proteja la

tubería y permita el correcto acceso de la maquinaria para los trabajos del movimiento de tierra (ver figura 84). Las dimensiones de la tubería y el relleno se presentan en la Tabla 24.

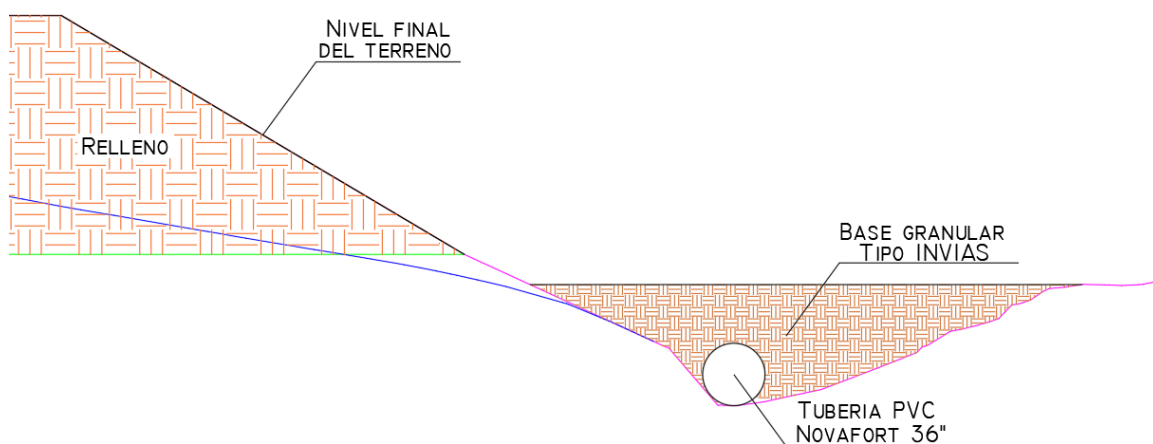


Figura 84: Propuesta de encauzamiento temporal Quebrada El Cafetero

Tabla 24: Especificación propuesta de encauce temporal

Elemento	Diámetro	Longitud (m)	Relleno (m3)	Especificación del relleno
Tubería PVC Novafort	36"	24	160.37	Base granular tipo INVIAS

- Una vez terminada la intervención de la propuesta se debe retornar de manera definitiva al cauce natural de la quebrada, retirando el relleno y tubería anterior. Para evitar problemas de erosión en la pata del talud donde se realizó la intervención se propone un recubrimiento utilizando la estrategia del Flexocreto (ver numeral 7.6).

7.6. Descole

Finalmente, la última estructura hidráulica hace referencia a la estrategia usada para entregar el agua recogida en las cunetas de manera eficiente y adecuada a la quebrada El Cafetero, para esto se decidió aprovechar las cajas de recolección y distribución (ver numeral 7.2), en donde se propone encauzar el flujo por medio de una tubería subterránea con salida en una cota cercana al nivel de la quebrada, de esta manera se evita el flujo de agua sobre la superficie del talud (ver figura 85).

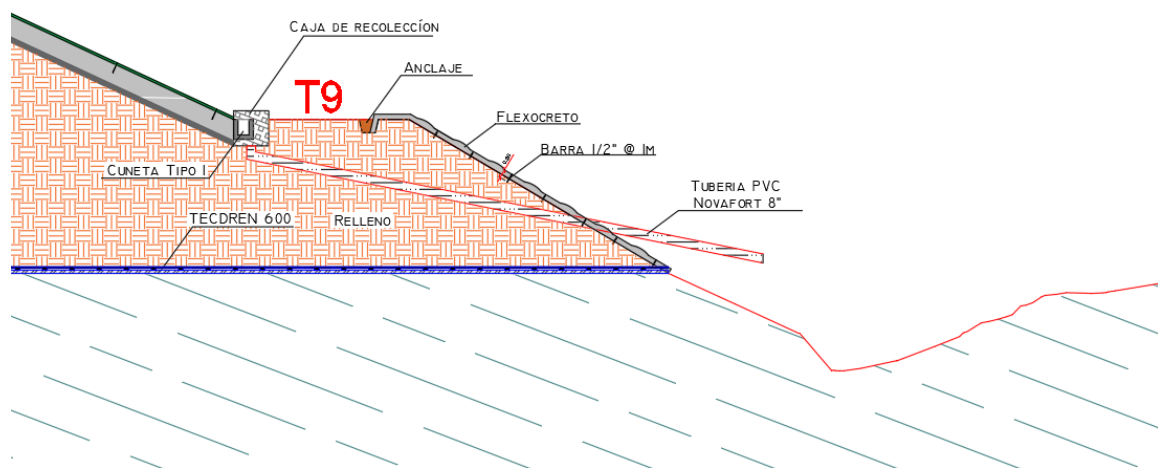


Figura 85: Descole por medio de tubería PVC y flexocreto

Como propuesta adicional se implementa un flexocreto sobre la cara inclinada de la última terraza, esto con el objetivo de revestir y controlar la erosión en la pata del talud dado su continuo contacto con la quebrada El Cafetero.

Para el cálculo del diámetro de requerido en la tubería, se evalúa la capacidad hidráulica de las tuberías PVC Novafort comerciales que cumpla el caudal solicitado. El caudal de diseño corresponde al acumulado por toda la red de cunetas. Esta verificación se realizó con ayuda del software HCANALES, a continuación, se muestran los resultados obtenidos (ver figura 86).

Cálculo del tirante normal, sección circular

Lugar: **Sevilla** Proyecto:

Tramo: **Descole Final** Revestimiento: **PVC**


Datos:

Caudal (Q): **0.1267** m³/s

Diámetro (d): **0.2032** m

Rugosidad (n): **0.009**

Pendiente (S): **0.16** m/m



Resultados:

Tirante normal (y): **0.1183** m

Perímetro mojado (p): **0.3527** m

Área hidráulica (A): **0.0196** m²

Radio hidráulico (R): **0.0555** m

Espejo de agua (T): **0.2004** m

Velocidad (v): **6.4693** m/s

Número de Froude (F): **6.6080**

Energía específica (E): **2.2514** m-Kg/Kg

Tipo de flujo: **Supercrítico**

Figura 86: verificación hidráulica de la tubería PVC

Las dimensiones y propiedades de la tubería y flexocreto se presentan a continuación (ver tablas 25 y 26).

Tabla 25: Dimensiones de la tubería propuesta para el descole

Elemento	Diámetro	Longitud (m)	Pendiente (m/m)
Tubería PVC Novafort	8"	12	0.16

Tabla 26: Dimensiones y recomendaciones para el flexocreto

Elemento	Longitud (m)	Ancho (m)	Área por cubrir (m ²)	Material de llenado	Anclajes
Flexocreto*	6.87	11.09	76.19	Concreto TMN <= 3/8" con A/C entre 0.60 y 0.70	Varilla corrugada 1/2", separadas cada metro y una profundidad mínima de 15 cm

* Al igual que el manto de erosión se deben realizar trincheras de anclaje para una correcta instalación del flexocreto.

* La longitud del traslapeo entre mantos es de 10 cm.

8. Diseño estructural

Para el diseño estructural se tienen en cuenta todos los elementos en concreto que conforman la propuesta constructiva: cunetas, pantallas, losa y caja de distribución en concreto, se tienen referenciadas la geometría de cada una de las propuestas según el correspondiente diseño de cada una y las cuantías de acero mínimas que deben contener.

8.1. Cunetas

Para el refuerzo de las cunetas se tiene en cuenta la cuantía mínima que deben tener las mismas dados los esfuerzos por retracción y temperatura, la cual se propone de 0.0017 con un recubrimiento de mínimo 3.5cm. Dando como resultado los siguientes diseños de acero para las cunetas a lo largo de su estructura:

Tabla 27. Acero para cunetas

Cuneta	Área de refuerzo (cm ²)	Tipo de refuerzo
Transversal 60x50	3.06	Malla grafil 8mm 15x15
Transversal 50x50	2.89	Malla grafil 7.5mm 15x15
Longitudinal 25x35	1.96	Malla grafil 6.5mm 15x15

Sección transversal cuneta 60x50:

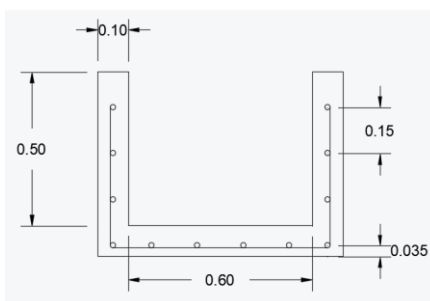


Figura 87: Refuerzo cuneta 60x50

Sección transversal cuneta 50x50:

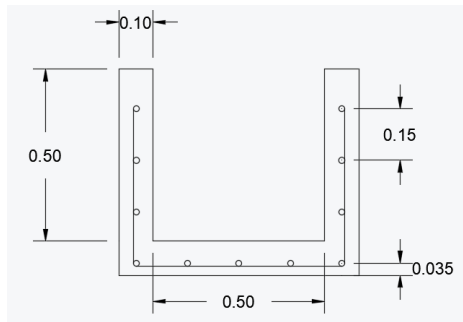


Figura 88: Refuerzo cuneta 50x50

Sección transversal cuneta 25x35:

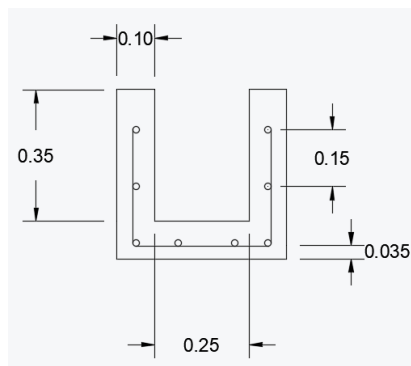


Figura 89: Refuerzo cuneta 25x35

8.2. Pantallas en concreto

Las pantallas en concreto que irán en el fondo de cada trinchera drenante se diseñan con el objetivo de que estas sirvan como una especie de revestimiento impermeable para elevar el nivel del agua en el fondo y así salir mediante el dren horizontal hacia las cajas de recolección.

Para el diseño de las pantallas en concreto se realizó el avalúo de empujes sobre la estructura. Se tuvo en cuenta el empuje del agua en cada una de ellas mediante el siguiente cálculo de presiones:

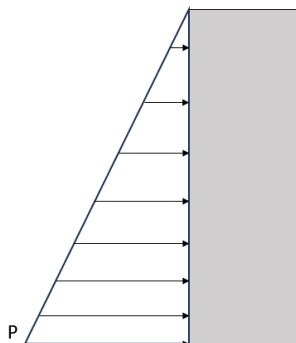


Figura 90: Diagrama de presiones ejercidas sobre la pantalla de concreto

Donde P es la presión que el agua ejerce sobre la estructura, se calcula mediante la siguiente fórmula para obtener el valor de la fuerza por metro cuadrado:

$$P = \gamma_w * h \quad (1)$$

Los resultados para cada pantalla son los siguientes (tomando γ_w como 9.81 kN/m³):

Tabla 28. Presiones ejercidas sobre las pantallas de concreto

Pantalla	h (m)	P (kN/m ²)
1	0.95	9.32
2	1.20	11.77
3	2.00	19.62

Una vez obtenidos los valores de P para cada pantalla se procedió a realizar la simulación en el software SAP2000 para obtener las cuantías de acero por metro lineal necesarias en cada elemento.

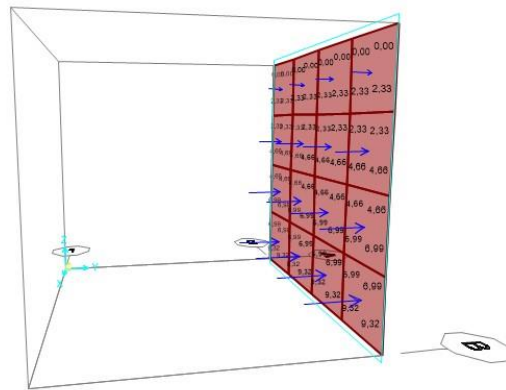


Figura 91. Presión sobre pantalla 1 de 0.95m por metro lineal.

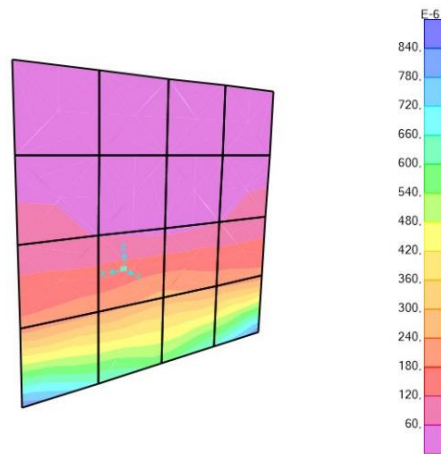


Figura 92: Cuantía de acero necesaria para pantalla 1 de 0.95m por metro lineal.

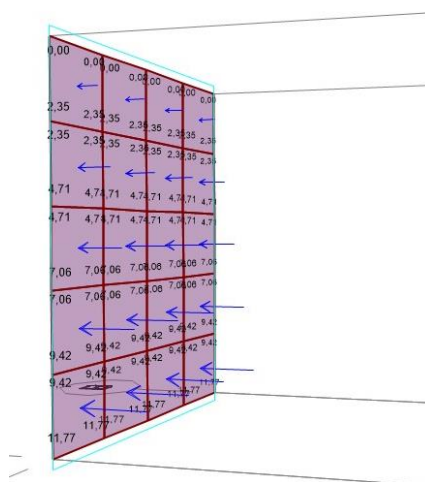


Figura 93: Presión sobre pantalla 2 de 1.20m por metro lineal.

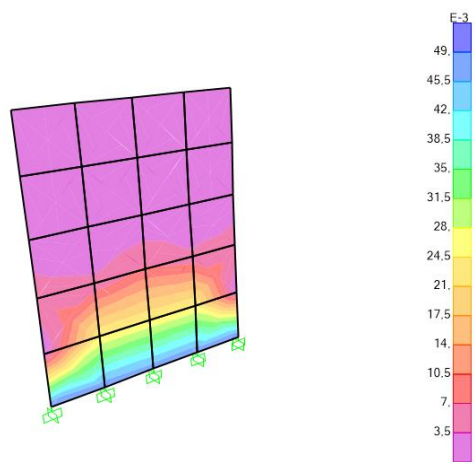


Figura 94: Cuantía de acero necesaria para pantalla 2 de 1.20m por metro lineal

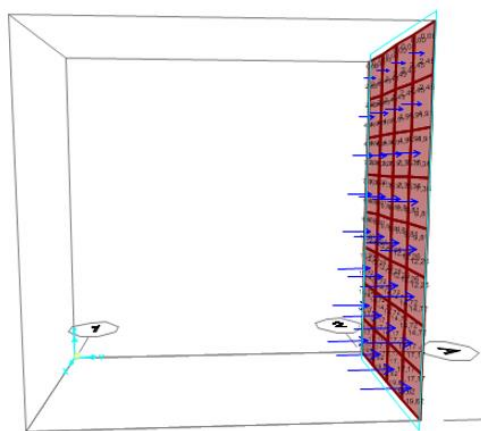


Figura 95: Presión sobre pantalla 3 de 2.00m por metro lineal.

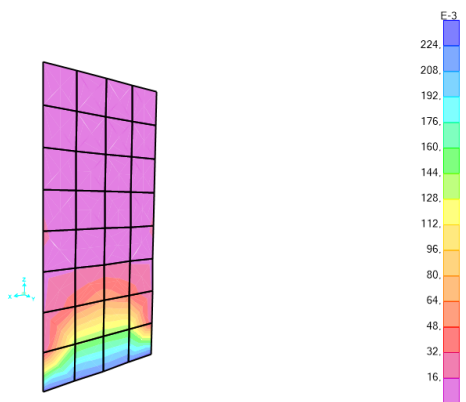


Figura 96: Cuantía de acero necesaria para pantalla 3 de 2.00m por metro lineal

Finalmente, en la Tabla (29) se presenta el resumen de las cuantías obtenidas y el tipo de refuerzo a utilizar en cada una de las estructuras con un recubrimiento de 4cm en sentido horizontal y de 7.5 cm para la zona inferior de la pantalla.

Tabla 29. Acero de refuerzo para pantallas en concreto.

Pantalla	h (m)	Espesor (m)	Cuantía de acero (cm ² /ml)	Tipo de refuerzo	Gancho (cm)	Resistencia del concreto (psi)
1	0.95	0.12	0.084	Parrilla con barra 7.0mm 15x15cm	--	3000
2	1.20	0.12	4.90	Parrilla con barra 8.5mm 10x10cm	--	3000
3	2.00	0.12	22.40	Parrilla con barra 5/8" 8x8cm	9.5	3000

8.3. Losas en concreto

Las losas en concreto propuestas se diseñan con el mismo objetivo que las pantallas, servir de revestimiento impermeable en el fondo de las trincheras para elevar el nivel del agua y direccionarla a los drenes horizontales para su evacuación.

Para el diseño de las losas en concreto se tuvo en cuenta la cuantía mínima por retracción y temperatura, actuando estas como base impermeable y solado para las trincheras de grava y las pantallas en concreto. La cuantía mínima según el Título C, literal 7.12.2.1 es 0.0018, lo cual da como resultado que se requiera utilizar malla en grafil 6.5mm con espaciado de 15x15cm y un recubrimiento de 3.5 cm. (ver tabla 30).

Tabla 30: Dimensiones de diseño para losa de concreto

Elemento	b (m)	Espesor (m)	Tipo de refuerzo	Resistencia del concreto (psi)
----------	-------	-------------	------------------	--------------------------------

Losa en concreto	0.12	0.10	Parrilla con barra 6.5mm 15x15cm	3000
------------------	------	------	-------------------------------------	------

8.4. Cajas de distribución y recolección

Para estas estructuras hidráulicas presentes de dimensiones 80x80x80cm que estarán recolectando y distribuyendo las aguas traídas por las cunetas, se decidió realizar un diseño conservador respecto al acero que llevarán las mismas, proponiendo así una malla de grafil 7mm con espaciado 15x15cm para que así, debido a sus propiedades anticorrosivas y resistencia a las condiciones ambientales adversas, pueda garantizar la longevidad y eficacia del sistema. Las dimensiones de la caja se evidencian en la tabla 21.

9. Paisajismo

El paisajismo que se empleó en la zona afectada se realizó con el objetivo de devolver el contacto con la naturaleza en donde se proteja y conserve la biodiversidad, haciendo uso de los siguientes elementos:

- Escaleras y rampa
- Andenes con guías podotactiles
- Arborización
- Barandas
- Empradización

Dichos elementos se utilizaron para armonizar la zona de influencia, teniendo en cuenta sus criterios de diseño, donde se utilizarán árboles y prado nativos que promuevan la reforestación en la zona, teniendo en cuenta la seguridad para la población y por ello la implementación de barandas de protección para evitar inconvenientes en las áreas de desnivel. Por último, la inclusión de todas las personas, haciendo uso de escaleras, rampas

y guías podotactiles en los andenes para que las personas con capacidades reducidas puedan acceder a la zona (terrazas).

9.1. Mobiliario

En la zona de influencia se dirigió a tener un área con amplias zonas verdes, con el fin de disfrutar un espacio agradable, para impulsar este objetivo se hizo uso de los siguientes elementos:

- Bancas
- Juegos infantiles

Los elementos mencionados se emplearon teniendo en cuenta sus criterios de diseño, obteniendo la rehabilitación de espacios sanos y agradables para el público, los cuales pueden brindar un bienestar

10. Urbanismo

En la zona de influencia de la obra se encuentran tres elementos de urbanismos a intervenir:

- Redes eléctricas existentes.
- Redes de acueducto y alcantarillado existentes.
- Vías existentes.

Para las redes de acueducto y alcantarillado y las vías existentes, se procederá a la demolición, ya que en la actualidad la vía se encuentra colapsada parcialmente (ver figura 97) y las redes de acueducto y alcantarillado se encuentra deshabilitadas. La demolición se llevará a cabo en la carrera 51, desde la calle 44 hasta dónde se encuentra colapsada parcialmente.

En cuanto a las redes eléctricas, a diferencia de las dos anteriores sí se encuentran activas y en uso, por lo cual se debe llevar a cabo la reubicación y reconexión de dos (2) postes ubicados en el área de influencia, tal como se observa en la figura 98.



Figura 97: Vía existente, colapsada parcialmente (noviembre 3 del 2023).



Figura 98: Elementos de red eléctrica existentes (noviembre 3 del 2023).

11. Metodología constructiva

Para llevar a cabo la elaboración del diseño propuesto, se recomienda el proceso constructivo de la manera mostrada a continuación.

1. Estabilización temporal de la quebrada el Cafetero

Como primera medida, se debe llevar a cabo la estabilización temporal de la quebrada el cafetero, a través de la instalación de una tubería y la ejecución de un relleno de material compactado sobre esta misma (ver figura 99). Esto, con el objetivo de proporcionar una vía de acceso para la maquinaria y transporte de materiales.

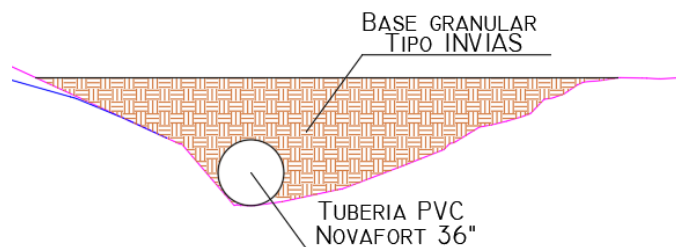


Figura 99: Estabilización temporal quebrada el Cafetero

2. Limpieza y descapote de la zona de trabajo

Limpieza del terreno con el fin de eliminar la vegetación existente sobre el terreno, con el objetivo de dejar la zona de trabajo lista para realizar la localización y replanteo.



Figura 100: Descapote de terreno con máquina

3. Localización y replanteo con referencia topográfica

Ubicar y marcar en el terreno o superficie de construcción los ejes principales, paralelos o perpendiculares señalados en los planos, así como los linderos de este. Todo esto bajo el marco de la georreferenciación brindada por la comisión de topografía del proyecto.

4. Excavación con máquina para terrazas y trincheras drenantes

Inicio de las actividades de excavación, haciendo uso de la maquinaria designada para tal fin, como lo son: retroexcavadora, bulldozer y minicargador. Todas las actividades de excavación se deben llevar a cabo en base con el plano de excavaciones y contando con supervisión permanente de la comisión topográfica del proyecto. Des importante señalar que se recomienda un punto de partida de excavaciones desde la parte inferior, para disminuir las posibilidades de deslizamientos debido a que no es un terreno muy estable.



Figura 101: Proceso de excavación con maquinaria

5. Instalación de geotextiles, drenes sub horizontales

Para la instalación de geotextiles, se debe contar con la preparación del terreno previa, verificando que este se encuentre en condiciones de compactación óptimas, posterior a esto realizar los traslapes requeridos y especificados, para así, proceder con el relleno especificado con la compactación requerida.

Posterior a las excavaciones especificadas se procede a realizar la instalación de los drenes horizontales, en las ubicaciones y con las longitudes especificadas. Con esto, se procede a realizar los respectivos rellenos en las cotas seleccionadas.



Figura 102: Drenes horizontales instalados

6. Relleno con material de sitio compactado

Se lleva a cabo el relleno con material de sitio, haciendo uso de la maquinaria antes mencionada, adicionando un vibro compactador. Se aplica compactación a los rellenos hasta alcanzar el grado de compactación señalado.

7. Relleno con grava 3/4" – 1/2" para trinchera drenante

El relleno de las trincheras de grava se debe realizar con la granulometría especificada y, evitar realizar el relleno arrojando desde la parte superior la grava, esto con el objetivo de no generar fracturas en el terreno y conservar las propiedades del agregado. Es por esto, que se recomienda hacer uso de un canal que permita la disposición sin impacto de los agregados a usar.



Figura 103: Relleno con grava para trinchera drenante

8. Perfilado de talud con máquina

Consiste en uniformizar la superficie de los taludes resultantes posterior a realizar las excavaciones y rellenos indicados, siguiendo la inclinación determinada en los diseños suministrados. Esto se realiza utilizando maquinaria como bulldozer y motoniveladora.



Figura 104; perfilado de talud con motoniveladora

9. Excavación para elementos de drenaje superficial

Se lleva a cabo la excavación de los elementos de drenaje superficial como lo son: cunetas y cajas de recolección y distribución. Se puede llevar a cabo por métodos mecánicos o manuales. Es indispensable que al realizar el procedimiento se respeten las pendientes establecidas.

10. Instalación de manto para control de erosión (geomalla)

Posterior al perfilamiento de los taludes se procede a la instalación de mantos de control para la erosión de estos mismos, denominado geomalla, todo esto de acuerdo con los anclajes y traslajos recomendando según la referencia.



Figura 105: Geomalla instalada en un talud

11. Fundición de elementos de drenaje superficial

Con las excavaciones realizadas se realiza las actividades previas a la fundición como: localizar, pasar niveles, colocar formaletas y armar y colocar aceros. Con todo esto realizado se procede a la fundición de estos elementos, siempre cuidando las buenas prácticas de fundición y llevando a cabo la resistencia especificada.

12. Elaboración de rutas y medios de acceso

Con los movimientos de tierra principales y elementos de drenaje completados se procede a la realización de las rutas de acceso a la estabilización. Como se indica en los diseños se lleva a cabo la realización de escalones, rampas y andenes, todos estos con los elementos de señalética, barandas y losetas podó táctiles respectivas. Todo esto se hace con el objetivo de transformar el lugar en un sitio de encuentro, evitando así problemáticas sociales que se han venido presentando en el sector.

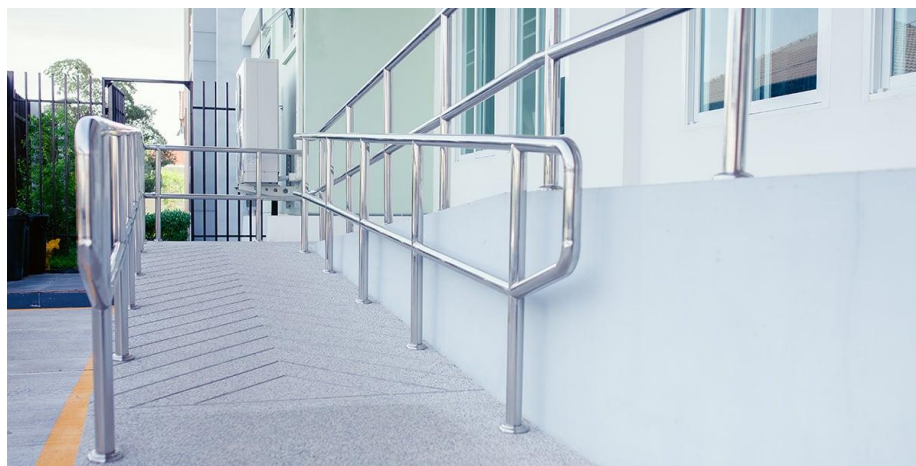


Figura 106: Rampa de acceso para personas con movilidad reducida

13. Instalación de elementos de paisajismo

Como parte del objetivo de transformación del lugar, se hará un proceso de siembra y arborización, instalando elementos como pasto Festuca, pasto Vetiver para talud y árboles de guayaba.

14. Instalación de elementos de mobiliario

Se lleva a cabo instalación de elementos de mobiliario como barandas en distintos niveles con el objetivo de brindar protección y, como parte del proceso de transformación se instalarán juegos infantiles y bancas en distintos niveles de la intervención.

12. Cantidades de obra

Para el cálculo de las cantidades de obra se tuvo en cuenta las cantidades de cada uno de los elementos que se están contemplando para el proyecto, incluyendo: movimientos de tierra (excavaciones y rellenos), estructuras hidráulicas en concreto, estructuras para tránsito peatonal en concreto y estructuras para drenaje en tubería PVC.

Se calcularon las cantidades de excavación y relleno partiendo de dividir la zona de estudio en ocho (8) perfiles en cada terraza espaciados por cinco (5) metros entre sí, para a continuación calcular los movimientos de tierra dependiendo de la geometría de estos mediante el método de cubicación.

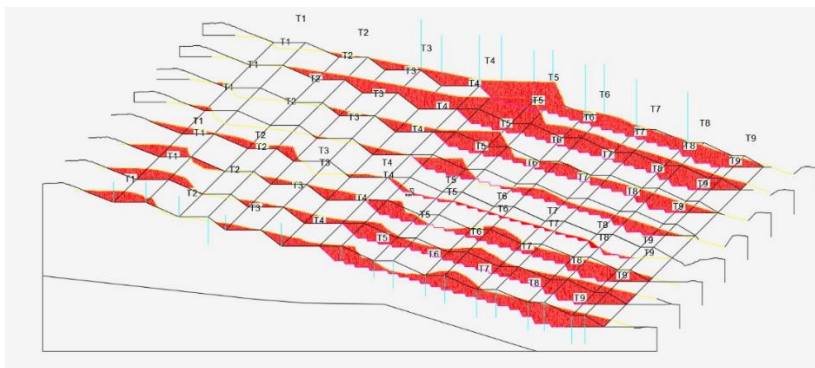


Figura 107: Excavaciones a realizarse en cada uno de los perfiles.

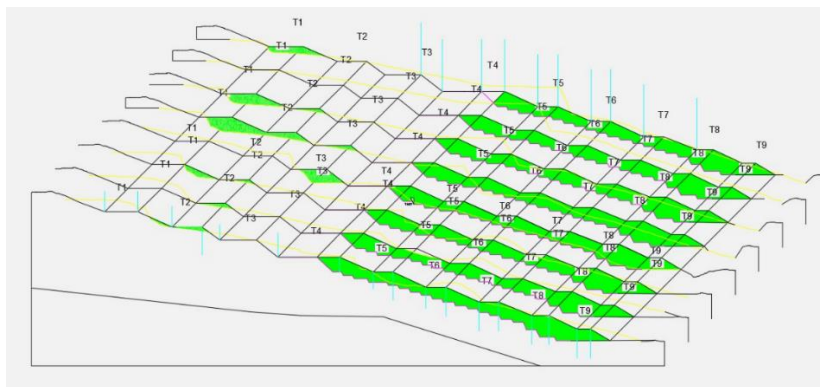


Figura 108: Rellenos a realizarse en cada uno de los perfiles.

Posteriormente, se calculan los metros cúbicos de las trincheras de grava a partir del ancho que tienen en cada terraza y su profundidad, partiendo de que cada trinchera tiene un ancho de 1.2 m. Adicionalmente se calculan los metros cuadrados de geotextil a utilizar como recubrimiento de las trincheras y los metros cuadrados de Tecdren a poner en las zonas de taludes que lo requieren para los cajones de excavación, posteriormente, se calculan los metros cuadrados de manto TRM para control de erosión. Luego, se calculan los metros lineales necesarios de dren horizontal por cada trinchera presente según las necesidades y espaciamiento definidos.

Por último, se procede a calcular las cantidades de concreto presentes en las estructuras hidráulicas y de paso peatonal, además del acero que las refuerzan. Para poder detallar mejor estos cálculos se invita revisar en la sección de anexos “MEMORIAS DE CÁLCULO PRESUPUESTO”.

13. Presupuesto

El presupuesto final de obra después de tener en cuenta todas las actividades puede encontrarse junto a sus APU propios y memorias de cálculo en los Anexos “PRESUPUESTO COSTO DIRECTO”, “APU PROPIOS PROPUESTA” y “MEMORIAS DE CÁLCULO PRESUPUESTO”, a continuación, se comparte de igual manera el presupuesto para su visualización:

Tabla 31. Presupuesto de proyecto.

PRESUPUESTO PARA OBRAS DE MITIGACIÓN DE DESLIZAMIENTOS EN EL MUNICIPIO DE SEVILLA, VALLE DEL CAUCA

Ítem	Fuente	Espec.	Descripción	Und.	Cant.	Vlr. Unit.	Vlr. Total
1			Actividades preliminares				
			Localización y				
1.1	Propia		replanteo con equipo de topografía	m ²	7,466.00	5,624.00	41,988,784.00
1.2	Propia		Retiro de poste en concreto	Und	4.00	117,947.00	471,788.00
1.3	Propia		Campamento tabla 18 m2 más bodega 9 m2	Und	1.00	5,006,543.00	5,006,543.00
1.4	Propia		Cerramiento en tela verde H=2.10 m	m	398.64	10,599.00	4,225,185.00
			Subtotal actividades preliminares				51,692,300.00
2			Excavaciones, conformación y retiro de material sobrante				
			Demolición de				
2.1	INVIAS 2023-1	201.8	pavimento (incluye retiro de material)	m ²	316.17	17,059.82	5,393,803.00
			Excavación a máquina				
2.2	INVIAS 2023-1	201.2.2	en material común de la explanación y canales	m ³	7,689.92	12,780.59	98,281,751.00
2.3	Propia		Excavación tierra a mano	m ³	120.48	18,980.00	2,286,618.00
2.4	Propia		Relleno con material de sitio	m ³	7,689.92	8,485.00	65,248,995.00

**PRESUPUESTO PARA OBRAS DE MITIGACIÓN DE DESLIZAMIENTOS EN EL MUNICIPIO DE
SEVILLA, VALLE DEL CAUCA**

			Relleno tipo recebo				
2.5	INVIAS 2023-1	223.3.1	para terraplenes reforzados con geosintéticos	m ³	4313.46	53,896.76	232,481,556.00
			Relleno tipo BG25				
2.6	INVIAS 2023-1	223.3.3	para terraplenes reforzados con geosintéticos	m ³	160.37	97,704.78	15,668,785.00
			Compactación de				
2.7	Propia		terreno con vibrocompactador manual	m ²	1,560.4	80,000.00	12,483,200.00
			Tubería de plástico				
2.8	INVIAS 2023-1	663.1	tipo PVC, norma NTC- 5055, diámetro interno 900 mm	m	24.00	1,536,442.49	36,874,620.00
			Transporte de materiales provenientes de la excavación, canales y				
2.9	INVIAS 2023-1	900.1	prestamos, entre cien metros (100 m) y mil metros (1000 m) de distancia (analizado para volqueta de 6 m3)	m ³	7,810.40	977.52	7,634,820.00
			Subtotal excavaciones, conformación y retiro de material sobrante				476,354,148.00
3			Obras de mitigación				
3.1	Propia		Trinchera de grava 3/4"	m ³	564.06	88,964.00	50,028,738.00
			Geotextil tipo no tejido				
3.2	INVIAS 2023-1	673.1.1	con resistencia a la tensión grab mínima	m ²	1,126.58	8,865.93	9,988,171.00

**PRESUPUESTO PARA OBRAS DE MITIGACIÓN DE DESLIZAMIENTOS EN EL MUNICIPIO DE
SEVILLA, VALLE DEL CAUCA**

			de 700 n (trincheras de grava)				
3.3	INVIAS 2023-1	674.1	Dren horizontal de longitud menor o igual a veinte (20) metros		195.50	104,299.78	20,390,607.00
			Cunetas de concreto 3000 psi f'c=21 mpa vaciada in situ; incluye la conformación de la superficie de apoyo (cunetas longitudinales y transversales)				
3.4	INVIAS 2023-1	671.3	Acero de refuerzo 60.000 psi fy=420 mpa	m ³	54.82	526,801.00	28,879,099.00
3.5	INVIAS 2023-1	640.1	Perfilación de talud a maquina	kg	4,693.24	5,263.65	24,703,596.00
3.6	Propia		Sistema para protección, revegetar, control de erosión y estabilización superficial de taludes y laderas con geobiomalla (Tecdren cajones)	m ²	4,506.75	11,319.00	51,011,850.00
3.7	INVIAS 2023-1	850.3	Cajas de conexión y distribución de cunetas	m ²	5,398.84	73,728.66	398,049,512.00
3.8	Propia		Tubería 8" para descole	Und	9.00	371,329.00	3,341,961.00
3.9	Propia		Suministro e instalación de flexocreto manual	m	12.00	57,705.00	692,460.00
3.10	Propia		Concreto 21 mpa (3000 psi) mezclado in	m ²	76.19	198,356.00	15,112,406.00
3.11	INVIAS 2023-1	630.1.4.1		m ³	21.78	610,503.64	13,298,674.00

PRESUPUESTO PARA OBRAS DE MITIGACIÓN DE DESLIZAMIENTOS EN EL MUNICIPIO DE SEVILLA, VALLE DEL CAUCA

	Suministro e					
4.8	Propia	instalación de poste en concreto	Und	4.00	1,864,020.00	7,456,080.00
		Subtotal obras de paisajismo y revegetalización				196,425,078.00
					Costo directo de obra	1,600,830,876.00
					Plan de Gestión Social (5%)	80,041,544.00
					Costo total sin AIU	1,680,872,420.00

Para el presupuesto se contempló un ítem adicional dedicado al Plan de Gestión Social, el cual corresponderá a un 5% del valor total de la obra en costos directos, esto con el fin de proponer un plan de manejo con la comunidad en el cual se involucre una constante socialización del proyecto con el fin de reducir conflictos y promover la aceptación del mismo, además, por medio de un plan de gestión social se contribuye a la sostenibilidad del proyecto al considerar el bienestar social y ambiental a largo plazo, identificando y abordando posibles impactos negativos del proyecto en la comunidad, como reubicación de personas, cambio en las condiciones de vida, ruido, polución, entre otros, por último respecto al Plan de Gestión Social, este también ayuda a mejorar la reputación de la entidad encargada del proyecto, generando por confianza en la comunidad por medio de la consideración.

14. Impacto Ambiental

Posterior a obtener las cantidades de material más representativas para la obra, así como también la cubicación de las excavaciones y rellenos, se realizó el cálculo del impacto ambiental en kg de CO2 equivalente basados en la teoría expuesta por el profesor Iván Fernando Otálvaro respecto a esta temática. Se tuvieron en cuenta los lugares desde donde el material se piensa transportar a la obra como también los factores de conversión y de emisión de cada uno, a continuación, se presenta un resumen de los resultados obtenidos y el cálculo detallado lo podrán encontrar en el anexo “HUELLA DE CARBONO FINAL”.

Tabla 32. Huella de Carbono en kg CO2 eq

<i>Huella de Carbono en kg CO2 equivalentes</i>							
<i>Descripción</i>	<i>Unidad</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Cantidad de material (kg)</i>	<i>Factor de emisión</i>	<i>kg CO2 eq</i>	<i>Lugar</i>	<i>tkm</i>
<i>Excavación</i>	<i>m3</i>	<i>7,689.92</i>	<i>1,3841,856.00</i>	<i>0.0048</i>	<i>66,441</i>	<i>Lugar de disposición temporal</i>	<i>276,837</i>
<i>Concreto 3000 psi</i>	<i>m3</i>	<i>94.74</i>	<i>217,902.00</i>	<i>0.1</i>	<i>21,791</i>	<i>Cemex Tulua</i>	<i>15,553</i>
<i>Acero 420 Mpa</i>	<i>kg</i>	<i>4,693.24</i>	<i>4,693.24</i>	<i>0.44</i>	<i>2,066</i>	<i>Sidoc Armenia</i>	<i>413</i>
<i>Recebo compactado</i>	<i>m3</i>	<i>4,313.46</i>	<i>8,238,708.60</i>	<i>0.0035</i>	<i>28,836</i>	<i>Cantera Hawai (la victoria)</i>	<i>544,579</i>
<i>Geotextil no tejido NT5000 PAVCO</i>	<i>m2</i>	<i>1,105.30</i>	<i>1,045.61</i>	<i>0.00254</i>	<i>3</i>	<i>Pavco Bogotá</i>	<i>334</i>
<i>Tec-Dren</i>	<i>m2</i>	<i>5,398.84</i>	<i>18,561.00</i>	<i>1.57</i>	<i>29,142</i>	<i>Pavco Bogotá</i>	<i>5,921</i>
<i>Dren horizontal o de penetración</i>	<i>ml</i>	<i>195.50</i>	<i>235.00</i>	<i>3.5</i>	<i>822</i>	<i>Geomatrix Armenia</i>	<i>21</i>
<i>Manto TRM500</i>	<i>m2</i>	<i>5,165.53</i>	<i>1,834.00</i>	<i>2.97</i>	<i>5,447</i>	<i>Pavco Bogotá</i>	<i>585</i>
<i>Transporte</i>	<i>tkm</i>	<i>838,202.00</i>		<i>0.132</i>	<i>110,643</i>		
		<i>Kg CO2 eq</i>			<i>265,489.00</i>		
		<i>Ton CO2 Eq</i>			<i>265</i>		

15. Conclusión

En conclusión, el proyecto de estabilización del suelo en el barrio no solo propone mejorar la seguridad y la calidad de vida de los residentes, sino que también siembra las bases para futuras iniciativas de desarrollo en el municipio. La implementación de medidas de ingeniería geotécnica efectivas mitiga los riesgos asociados con la inestabilidad del suelo, brindando una base sólida para el desarrollo sostenible. La colaboración entre residentes, autoridades locales y expertos en geotecnia será fundamental, resaltando la importancia de la participación comunitaria en la resolución de desafíos colectivos. A medida que se avance, será crucial mantener el monitoreo y el mantenimiento preventivo para garantizar la durabilidad a largo plazo de las soluciones implementadas. Este proyecto no solo aborda problemas inmediatos, sino que también sirve de inspiración para otras comunidades, subrayando la importancia de la planificación integral y enfoques técnicos innovadores. En última instancia, al invertir en la estabilidad del suelo, fortalecemos la infraestructura y creamos un entorno más seguro y resistente para las generaciones actuales y futuras, marcando un hito significativo en el camino hacia la mejora continua y la prosperidad de la comunidad Sevillana.

16. Referencias

- NSR-10, “Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente”, Bogotá D.C, 2010.
- INVIAS: Instituto Nacional de Vías, “Análisis de precios unitarios de referencia regionalizados 2023-1”, Bogotá D.C, 2023.
- Universidad del Valle, “ESTUDIO DE AMENZA, VULNERABILIDAD, ESCENARIO DE RIESGO Y DISEÑO DE INGENIERIA Y TRATAMIENTO DE MITIGACION ANTE MOVIMIENTOS EN MASA EN LOS BARRIO MONSERRATE Y CAFETERO.” Santiago de Cali, diciembre de 2011.
- GEOCING, “REALIZAR LOS DISEÑOS DEFINITIVOS DE LAS OBRAS DE MITIGACION PROPUESTAS PARA LOS BARRIOS MONSERRATE Y CAFETEROS EN SEVILLA-VALLE.” Santiago de Cali, enero de 2014.
- CVC, “CONCEPTO REFERIDO A LA VALIDACION DEL DISEÑO DE LAS OBRAS DE MITIGACION PARA LOS BARRIOS MONSERRATE Y CAFETERO EN SEVILLA, VALLE DEL CAUCA, DISEÑO REALIZADO POR LA FIRMA GEOCING 2014 PARA LA ESTABILIZACION DE LADERAS.” Santiago de Cali, noviembre de 2018.
- Asociación de Ingenieros del Valle, “Consultoría técnica para realizar la evaluación integral de la situación actual, la revisión técnica de los diseños existentes y planear posibles soluciones alternativas para las obras de mitigación del riesgo de movimientos en masa en los barrios Monserrate y Cafetero en el municipio de Sevilla, Valle del Cauca”. Santiago de Cali, diciembre de 2019.
- CVC, “Concepto referido a la reactivación de un movimiento en masa ubicado en inmediaciones de los barrios Monserrate y Cafetero, municipio de Sevilla”. Santiago de Cali, marzo de 2022.

- MINMINAS; Servicio Geológico Colombiano, “CLASIFICACIÓN DE MOVIMIENTOS EN MASA Y SU DISTRIBUCIÓN EN TERRENOS GEOLÓGICOS COLOMBIANOS”, Bogotá D.C, octubre de 2017.
- Braja, D. (2020). Principles of Geotechnical Engineering. CENGAGE. <https://www-ebooks7--24-com.us1.proxy.openathens.net/?il=19663&pg=2>
- Procesos constructivos. Fundaciones [Presentación web]. Recuperado de: <https://procesosconstructivos.files.wordpress.com/2017/06/2017-cs-pc1-clase-03-fundaciones.pdf>
- Instituto Nacional de Vías (INVIAS). (2009). *Manual de drenaje para carreteras*. INVIAS. Recuperado de: <https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos-tecnicos/especificaciones-tecnicas/984-manual-de-drenaje-para-carreteras/file>
- Perez, E. (2005). Estabilidad de taludes. Recuperado de: <https://deca.upc.edu/es/el-departamento/secciones/itcg/docencia/asignaturas/geolquat/ejercicios/P2/analisis-estabilidad>
- PAVCO - WAVIN. (2023). *Diseño de Infraestructura con Geosintéticos*. Recuperado de: <https://www.geosoftpavco.com/index.html>
- Suarez, D. (2001). *Control de erosión en zonas tropicales*. Recuperado de: [Control de erosión en zonas tropicales - EROSION.COM.CO :: SITIO WEB DEL ING. JAIME SUÁREZ](http://www.erosion.com.co)
- Cárdenas, J. (2019) *Manual de diseño geométrico de carreteras*. ECOE Ediciones.
- Instituto Nacional de Vías INVIAS (2023). *Análisis de precios Unitarios de referencia 2023-1*. Recuperado de: <https://www.invias.gov.co/index.php/informacion-institucional/hechos-de-transparencia/analisis-de-precio-unitarios>

- Gobernación del Valle del Cauca (2021). *Listado de precios de Gobernación 2021*. Recuperado de: <https://www.valledelcauca.gov.co/documentos/11754/listado-de-precios-de-referencia-gobernacion-del-valle/>
- Instituto Nacional de Vías INVIAS (2012). Artículo 674-07 Drenes horizontales en taludes.